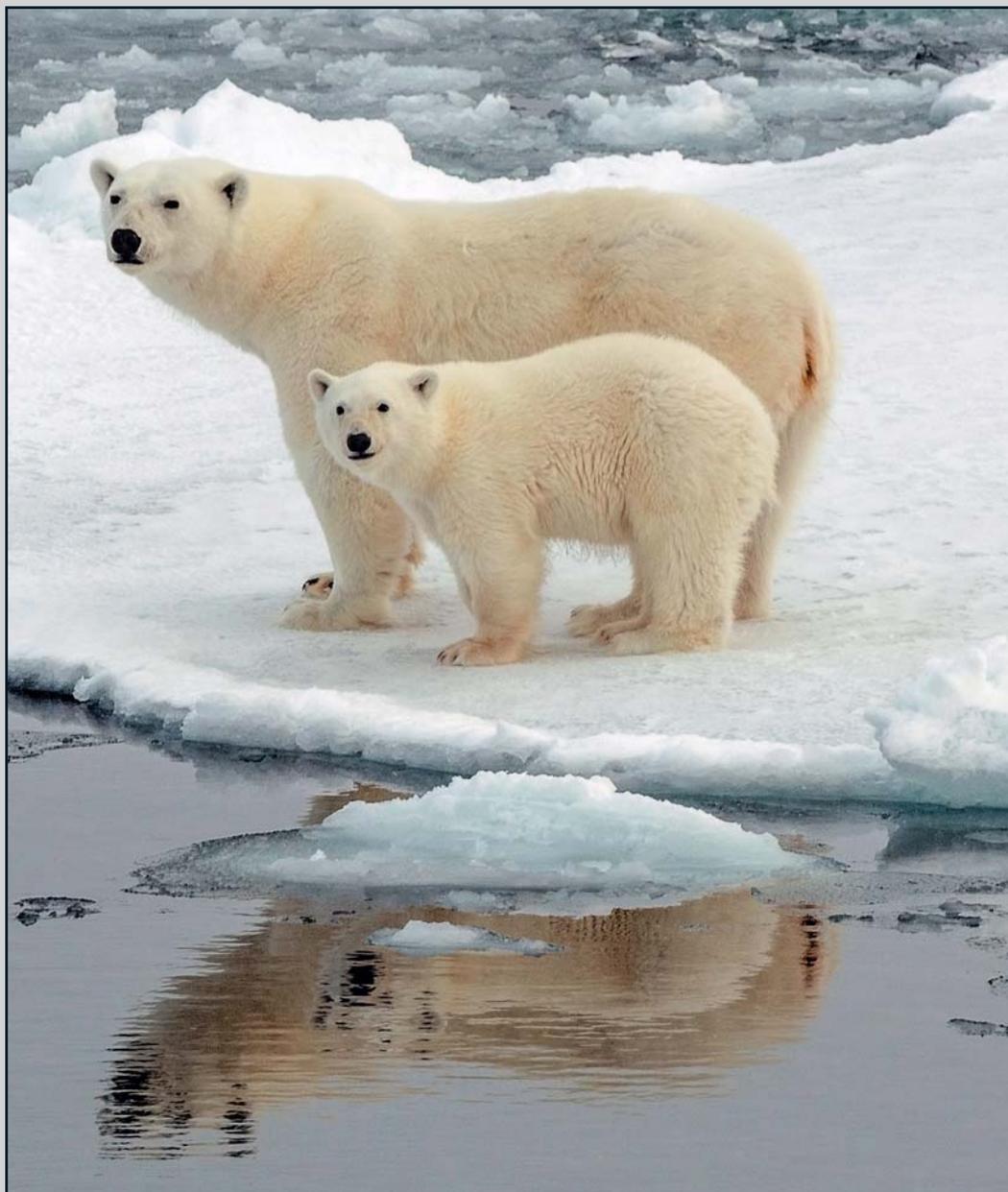


ПРИРОДА

4 15



В НОМЕРЕ:**3 Нетёсов С.В.****Эпидемия лихорадки Эбола: возможные причины и меры борьбы**

Все прежние вспышки геморрагической лихорадки Эбола ограничивались тропическими районами Центральной Африки и по масштабу были далеки от нынешней эпидемии. Почему вирус Эбола неожиданно проник на запад континента и поразил так много людей? Как остановить текущую эпидемию и предотвратить возникновение будущих?

13 Евдокимов Ю.М.**Наночастицы золота «управляют» упаковкой ДНК**

Наночастицы на основе благородных металлов рассматриваются сейчас как важнейшие элементы медицинской биотехнологии. Однако важно учитывать возможность вредного воздействия наночастиц на живые организмы, что требует тщательного изучения механизмов и результатов такого влияния.

22 Волокитин А.И.**Еще раз о скольжении по вакууму**

Теория бесконтактного трения, о которой рассказывалось раньше, уже находит себе применение при интерпретации новых экспериментальных результатов, в частности, касающихся трения в сверхпроводящих системах. Вопрос о том, как соотносятся электронный и фононный механизмы трения, сейчас активно обсуждается в нанотрибологии.

29 Каменский А.А., Сергеев И.Ю.**Где они — лекарства из пептидов?**

Всем, кто в середине 1970-х годов исследовал биологическую активность малых пептидов, казалось, что в недалеком будущем в аптеки хлынет поток новых лекарств, созданных на основе безвредных природных белковых факторов. Сбылись ли эти мечты и что им помешало?

36 Никонов А.А., Флейфель Л.Д.**Цунами в Одессе: природный или рукотворный феномен?**

Цунами на берегах Черного моря — явление не случайное, однако на украинском побережье подобного давно уже не происходило. Что же стало причиной появления трехметровых волн на пляжах Одессы летом 2014 г.?

44 Черных Е.Н.**Кочевой мир Евразии: тысячелетие кочевников Востока**

В первые века новой эры в Евразии началась эпоха завоевателей с Востока. И определили ее три волны: гунны, тюрки и монголы. Чем же отличались друг от друга эти могучие конные орды и что принесли они с собой на покорившийся им Запад?

Научные сообщения**58 Гуков А.Ю.****Крупные животные Арктики: сколько их осталось?****Времена и люди****62 Щербаков Р.Н.****Первый «чистый» физик-теоретик в России**

К 125-летию Ю.А. Круктова

70 Быкасов В.Е.**Курьезы с размерами: корова Стеллера и другие примеры****Апрельский факультатив****75 Расцветаева Р.К.****Гуановая республика****Никельшпарг Э.И.****Нобель vs Шнобель, или механизмы магнитоцепции (88)****Портнов А.М.****Не верьте красавицам, наркотик приносящим (94)**

CONTENTS:

3 **Netesov S.V.** **Ebola Epidemics: Possible Causes and Counter Measures**

All previous outbreaks of Ebola hemorrhagic fever were limited to tropical regions of Central Africa and were far less in scale than the current epidemic. Why Ebola virus unexpectedly infiltrated into the West of the continent and struck so many people? How to stop the current epidemic and prevent emergence of the future ones?

13 **Evdokimov Yu.M.** **Gold Nanoparticles «Control» DNA Packaging**

Nanoparticles of noble metals are considered now as the most important elements of medical biotechnology. But it is important to take into account the possible influence of nanoparticles on living organisms, which requires thorough study of mechanisms and results of such influence.

22 **Volokitin A.I.** **Once Again on Glide on Vacuum**

Theory of noncontact friction which was discussed previously already find an application for interpretation of new experimental results, in particular on the origin of friction in superconducting systems. The relative importance of electron and phonon mechanism of friction is now subject of active discussion in nanotribology.

29 **Kamensky A.A., Sergeev I.Yu.** **Where Are They – Peptide-based Drugs?**

Everybody who in mid-seventies studied biological activity of small peptides expected that in not far future our drugstores would be flooded with new drugs created on the base of harmless natural protein factors. Had these dreams realized and what prevented this?

36 **Nikonov A.A., Flejfel L.D.** **Tsunami in Odessa: Natural or Man-made Phenomenon?**

Tsunami on the shores of Black Sea is not a random phenomenon, but nothing like that was observed at Ukrainian coastline for a long time. What were the causes of arrival of three-meter high waves on Odessa beaches in summer 2014?

44 **Chernykh E.N.** **Nomadic Realm of Eurasia: Millennium of Eastern Nomads**

The epoch of Eastern peoples conquests in Eurasia began in the first centuries of new millennium. It was defined by three waves of invaders: Huns, Turks and Mongols. What were the differences between these mighty military horse hordes and what had they brought with them at the conquered West?

Scientific Communications

58 **Gukov A.Yu.** **Big Arctic Animals: What Are Their Numbers Now?**

Times and People

62 **Shcherbakov R.N.** **The First «Pure» Theoretical Physicist in Russia** To 125th Anniversary of Yu.A.Krutkov

70 **Bykasov V.E.** **Curios Incidents with Size: Steller's Sea Cow and Other Examples**

April Lectures

75 **Raszvetaeva R.K.** **Guano Republic**

Nikelshparg E.I. **Nobel vs Shnobel, or Mechanisms of Magnetoreception (88)**

Portnov A.M. **Do not Trust Beauties Giving Narcotics (94)**

Эпидемия лихорадки Эбола: возможные причины и меры борьбы

С.В.Нетёсов

В прошлом году вспыхнула самая крупная в истории эпидемия геморрагической лихорадки, вызванной вирусом Эбола. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), опубликованным 4 марта 2015 г., в нескольких странах мира (в основном в Западной Африке) заболело 23 014 человека, из которых 9840 умерло*. Как стало ясно после ретроспективных исследований, первой жертвой эпидемии был двухлетний мальчик Эмиль Оуамоуно, живший в гвинейской деревне Мелианду. Заболел он 2 декабря 2013 г. и через двое суток умер. От мальчика, по всей видимости, заразилась его мать, которая скончалась 13 декабря. В конце декабря заболела и умерла трехлетняя сестра Эмиля, в начале февраля — бабушка, а следом за ней — няня детей. Затем инфекция поразила многочисленных родственников и друзей бабушки, собравшихся на ее похороны из соседней деревни Дава, и вскоре перекинулась на жителей деревни Гбанду и города Гекеду.

* Информация о текущей эпидемиологической ситуации регулярно обновляется на страницах, посвященных лихорадке Эбола, на порталах Всемирной организации здравоохранения (who.int/csr/disease/ebola/en) и Центра по контролю и предотвращению заболеваний, США (cdc.gov/vhf/ebola).



Сергей Викторович Нетёсов, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, проректор по научной работе и заведующий лабораторией бионанотехнологий Новосибирского государственного университета. Область научных интересов — молекулярное разнообразие вирусов гепатитов, гастро- и энтеровирусов, конструирование онколитических вирусов нового поколения. Лауреат двух премий Правительства РФ в области науки и техники (1997 г. — «за разработку и организацию производства новых высокоэффективных средств диагностики ВИЧ-инфекции и гепатитов А, В, С» и 2005 г. — «за научное обоснование, разработку и внедрение системы защиты населения Российской Федерации от новых биологических угроз»).

Ухаживая за больными в этом городе, заболел медицинский работник, которого перевели в больницу города Масента, где он умер, при этом заразив лечащего его врача. Тот тоже скончался, как и двое его братьев, но один из них успел перед заболеванием уехать в город Кисидугу. Несколько месяцев спустя эпидемия лихорадки Эбола, начавшаяся в Гвинее, охватила несколько стран Западной Африки, где продолжается до сих пор. Что же такое геморрагические лихорадки и почему они так называются?

Геморрагические лихорадки

Геморрагия (греч. αιμορραγία — кровотечение, кровоизлияние) происходит вследствие нарушения целостности сосудов или повышения проницаемости их стенок. Геморрагия может быть вызвана как механическим или химическим повреждением тканей, так и различными патологиями, связанными с нарушением свертываемости крови (коагулопатией) — важнейшего этапа сложной системы гемостаза, отвечающей за остановку кровотечения и восстановление сосудистой системы организма. Например, при так называемом DIC-синдроме (от англ. Disseminated Intravascular Coagulation — диссеминированная

внутрисосудистая коагулопатия) происходит активация каскада биохимических реакций системы коагуляции*. В результате свертывание крови резко ускоряется, возникают тромбозы и эмболии мелких кровеносных сосудов, что вызывает нарушение кровоснабжения (ишемию) тканей и органов. Вслед за начальной тромботической фазой DIC-синдрома развивается гипокоагуляция, когда количество тромбоцитов и факторов свертывания резко снижается, что может привести к внутренним и внешним кровотечениям. Понятно, что сочетание ишемии и кровоизлияния делает DIC-синдром крайне опасным патологическим процессом.

DIC-синдром не возникает сам по себе, его причиной могут стать различные заболевания, в том числе и вирусные геморрагические лихорадки**. Очевидно, что возбудителей этих тяжелых заболеваний немало, а стран, в которых они встречаются, еще больше (табл.1). Однако вирус Эбола привлекает особое внимание специалистов, поскольку вызывает заболевание, которое приводит к смерти до 90% инфицированных (табл.2). Для сравнения: при геморрагической лихорадке с почечным синдромом летальность составляет менее 0.1%, при аренавирусных лихорадках, а также лихорадке Марбург — около 25%.

По мнению некоторых специалистов, вирус Эбола, как и ряд других возбудителей геморрагической лихорадки, возник совсем недавно — около

40 лет назад. Но если порыться в древних исторических книгах, то можно найти очень интересные сведения. Вот один из результатов таких поисков.

Древнегреческий историк Фукидид (V в. до н.э.), описывая события второго года Пелопоннесской войны, упомянул об эпидемии страшной болезни, которой сам переболел: *Как говорят, с самого начала болезнь появилась в Эфиопии, что за Египтом, потом спустилась она в Египет и Ливию и охватила большую часть владений персидского царя. На Афины болезнь обрушилась внезапно и прежде всего поразила жителей Пирея, почему афиняне и говорили, будто пелопоннесцы отравили там цистерны; водопроводов в то время в Пирее еще не было. Впоследствии болезнь достигла и верхнего города, и люди стали умирать уже в гораздо большем числе. Пускай всякий говорит об этой болезни по своему разумению, врач ли он, или обыкновенный человек; пускай каждый распускает, от чего она произошла, о причинах, которые, по его мнению, производили такое сильное изменение в состоянии здоровья. Я же изложу только, какова была эта болезнь, и укажу те симптомы ее, при виде которых, если она когда-нибудь повторится, всякий будет в состоянии, имея хоть кое-какие предварительные сведения, распознать ее; все это я укажу, потому что сам болел и лично наблюдал других, страдавших тою же болезнью. <...> Остальных, кто был здоров, без всякой видимой причины внезапно схватывал прежде всего сильный жар в голове, появлялась краснота и воспаление глаз; затем внутренние части, именно гортань и язык, тотчас затекали кровью, дыхание становилось неправильным и зловонным. После этих симптомов наступало*

* Подробнее см.: Баландина А.Н., Пантелеев М.А., Атауллаханов Ф.И. Система свертывания крови и ее регуляция // Природа. 2011. №3. С.32—38.

** Подробнее см.: Лебедев В.Н., Маркин В.А. Вирусные геморрагические лихорадки // Природа. 1997. №4. С.3—8.

Таблица 1

Известные возбудители вирусных геморрагических лихорадок и районы их распространения

Вирус	Районы распространения
Аренавирусы (Arenaviridae):	
вирус Ласса	страны Центральной Африки
вирус Хунин	Аргентина
вирус Мачупо	Боливия
вирус Гуанарито	Венесуэла
вирус Сэбия	Бразилия
Буньявирусы (Bunyaviridae):	
вирус геморрагической лихорадки с почечным синдромом	Россия, Финляндия, Корея, страны Южной Европы
вирус геморрагической лихорадки Крым-Конго	юг России, Греция, Болгария, страны Центральной Азии и Африки
вирус лихорадки долины Рифт	страны восточной части Экваториальной Африки
Филовирусы (Filoviridae):	
вирус Марбург	страны Экваториальной Африки
вирус Эбола	страны Экваториальной Африки
Флавивирусы (Flaviviridae):	
вирус болезни леса Кьясанур	Индия (штат Карнатака)
вирус омской геморрагической лихорадки	Россия (запад Сибири)
вирус желтой лихорадки	страны тропического пояса Африки и Южной Америки
вирус лихорадки денге	страны Южной и Юго-Восточной Азии, Африки, Океании и Карибского бассейна

чиханье и хрипота, а немного спустя страдания переходили в грудь, что сопровождалось жестоким кашлем. Когда болезнь бросалась на желудок, она производила тошноту, и затем следовали все виды извержения желчи, обозначаемые у врачей особыми именами, причем испытывалось тяжкое страдание. Дальше большинство больных подвергалось икоте без извержений, что вызывало сильные судороги, которые у одних прекращались тотчас, у других продолжались еще долгое время. Тело на ощупь не было слишком горячим, оно не бледнело, но было красноватое, синело, и на нем высыпали пузырьки и нарывы. Больной так горел, что не мог выносить прикосновения самой легкой шерстяной одежды, холщевых покровов и т.п., а раздевался донага и с особенной приятностью кидался в холодную воду. Многие, лишенные ухода, мучимые неутолимой жаждой, бросались в колодцы. И безразлично было, пил ли кто много или мало. Невозможность успокоиться и бессонница угнетали больного непрерывно. Пока болезнь была во всей силе, тело не ослабевало, но сверх ожидания боролось со страданиями, так что больные большей частью умирали от внутреннего жара на седьмой или на девятый день, все еще несколько сохраняя силы. Если больной переживал эти дни, болезнь спускалась на живот, там образовывалось сильное нагноение, сопровождавшееся жестоким поносом, и большинство больных, истощенные им, затем умирали. Зародившись прежде всего в голове, болезнь проходила по всему телу, начиная сверху; а если кто переживал самое тяжелое состояние, то болезнь давала себя знать поражением конечностей. Поражению этому подвергались детородные части, пальцы рук и ног, и многие с выздоровлением теряли эти члены, а некоторые лишались и зрения. Были и такие, которые тотчас по выздоровлению забывали решительно обо всем и не узнавали ни самих себя, ни своих близких [1].

Ученые XIX—XX вв. сначала считали, что та древняя эпидемия была вызвана чумой, затем — оспой, потом — брюшным или сыпным тифом. Наиболее осторожный исследователь В.Эбштейн предположил, что болезнь эта — из числа «тяжелых, контагиозных, эпидемических инфекционных заболеваний» [2]. Гипотез было выдвинуто не

Таблица 2

Заболеваемость и смертность во время вспышек геморрагической лихорадки Эбола 1976–2012 гг.

Год	Страна	Вид вируса Эбола	Случаи заболевания	Летальность, %
2012	ДРК*	<i>Bundibugyo ebolavirus</i> (BEBOV)	57 (36)**	51 (36)
2012	Уганда	<i>Sudan ebolavirus</i> (SEBOV)	7 (6)	57 (50)
2012	Уганда	<i>Sudan ebolavirus</i> (SEBOV)	24 (11)	71 (36)
2011	Уганда	<i>Sudan ebolavirus</i> (SEBOV)	1	100
2008	ДРК	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	32	44
2007	Уганда	<i>Bundibugyo ebolavirus</i> (BEBOV)	149	25
2007	ДРК	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	264	71
2005	ДРК	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	12	83
2004	Судан	<i>Sudan ebolavirus</i> (SEBOV)	17	41
2003	Конго	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	35	83
2003	Конго	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	143	90
2001	Конго	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	59 (57)	75 (75.5)
2001	Габон	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	65	82
2000	Уганда	<i>Sudan ebolavirus</i> (SEBOV)	425	53
1996	ЮАР***	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	1 (2)	100 (50)
1996	Габон	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	60	75
1996	Габон	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	31 (37)	68 (57)
1995	ДРК	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	315	81
1994	Кот-д'Ивуар	<i>Tai Forest ebolavirus</i> (CIEBOV)	1	0
1994	Габон	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	52	60
1979	Судан	<i>Sudan ebolavirus</i> (SEBOV)	34	65
1977	ДРК	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	1	100
1976	Судан	<i>Sudan ebolavirus</i> (SEBOV)	284	53
1976	ДРК	<i>Zaire ebolavirus</i> (ZEBOV)	318	88

* Демократическая Республика Конго.

** В скобках указаны данные, собранные Центром по контролю и предотвращению заболеваний США, в случае, когда они расходятся с цифрами Всемирной организации здравоохранения.

*** Южно-Африканская Республика.

один десяток, и большинство из них хорошо разобрано в статье, авторы которой среди прочих кандидатов в возбудители, вызвавших эпидемию в Афинах, называют вирус геморрагической лихорадки Ласса [3], до сих пор вызывающий ежегодные вспышки в Африке. В 2006 г. греческие генетики попытались идентифицировать древнего возбудителя путем ПЦР-анализа проб ДНК, выделенных из пульпы зубов умерших, чьи останки были найдены в большой коллективной могиле на описанном Фукидидом древнем кладбище Керамейкос в Афинах [4]. Ученые выявили генетический материал возбудителя брюшного тифа (*Salmonella enterica* serovar Typhi). Однако они не ставили тесты на вирусную РНК, которую содержат все возбудители геморрагических лихорадок, поэтому пока невозможно решить, что именно стало причиной эпидемии в Древней Греции. Замечу только, что, судя по описанию, болезнь пришла из Эфиопии, а там до сих пор отмечают случаи геморрагической лихорадки Крым-Конго.

Возбудители геморрагической лихорадки есть и на других континентах, например в Южной Америке. Но вот были ли они в прошлом? Мексиканс-

кий ученый Р.Акуна-Сото предположил, что по крайней мере одна из опустошительных эпидемий в Мексике XVI в. могла быть вызвана вирусной геморрагической лихорадкой [5, 6]. В 2000 г. он обнаружил в государственных исторических архивах документ, в котором Франсиско Эрнандес де Толедо — придворный врач испанского короля Филиппа II — описал симптомы, не похожие на проявление чумы, оспы или кори. Болезнь сопровождалась высокой температурой, головной болью и кровотечением из носа, ушей и рта. Кроме того, эпидемии 1545 г., погубившей 80% от всего населения страны, предшествовала длительная засуха, которая, по всей вероятности, вызвала миграцию грызунов — возможных переносчиков болезни. Эта эпидемия была не единственной на территории современной Мексики до 1815 г., и нет никакой гарантии, что потенциально опасное заболевание не вернется. Поэтому крайне важно изучать даже те инфекции, которые в наше время редко встречаются или кажутся незначительными. Подтверждением тому служит предыстория текущей эпидемии лихорадки Эбола.

Распространение вируса Эбола

Возбудитель лихорадки — вирус Эбола (*Ebolavirus*) впервые был выявлен и идентифицирован в 1976 г. во время вспышки болезни в районе реки Эбола в Заире и в соседнем Судане, в деревне Нзара, среди работников хлопкообрабатывающей фабрики*. В Судане было зафиксировано 284 случая заражения, умер 151 человек. В Заире (ныне Демократическая Республика Конго, ДРК) 318 человек заболело, 280 погибло. Многочисленные шокирующие симптомы болезни и кажущаяся неотвратимость смерти пугали местное население столь сильно, что люди в ужасе разбегались из деревень. Поэтому и ликвидация эпидемии проходила намного медленнее, чем могло бы быть.

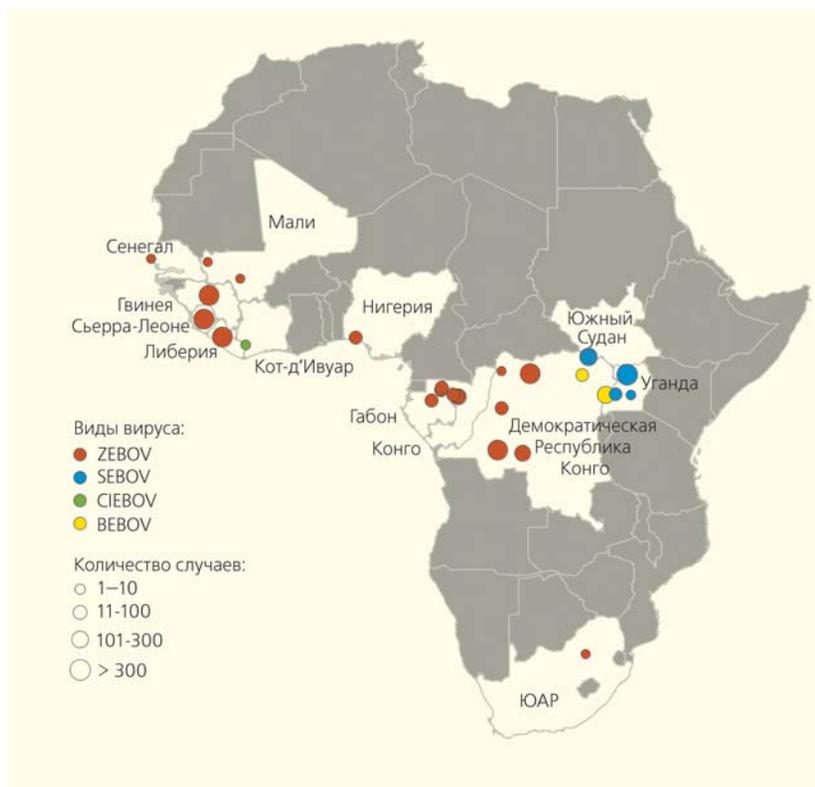
С тех пор ВОЗ зафиксировала больше двух десятков вспышек этой инфекции разного масштаба (см. табл.2). Их гео-

* Истории 40-летнего изучения филовирусов (*Filoviridae*), и в частности вируса Эбола, посвящена книга [7], электронная версия которой выставлена в открытом доступе на портале издателя: link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-211-69495-4.

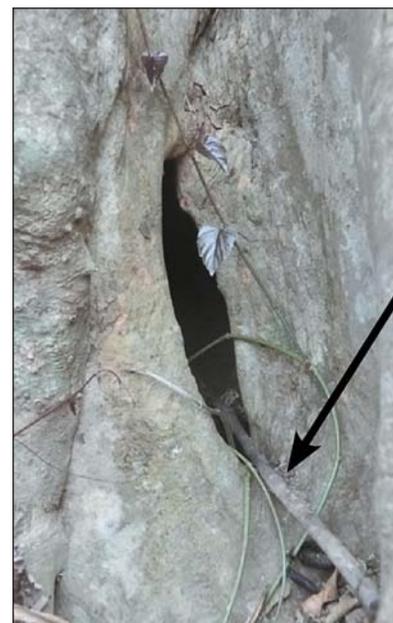
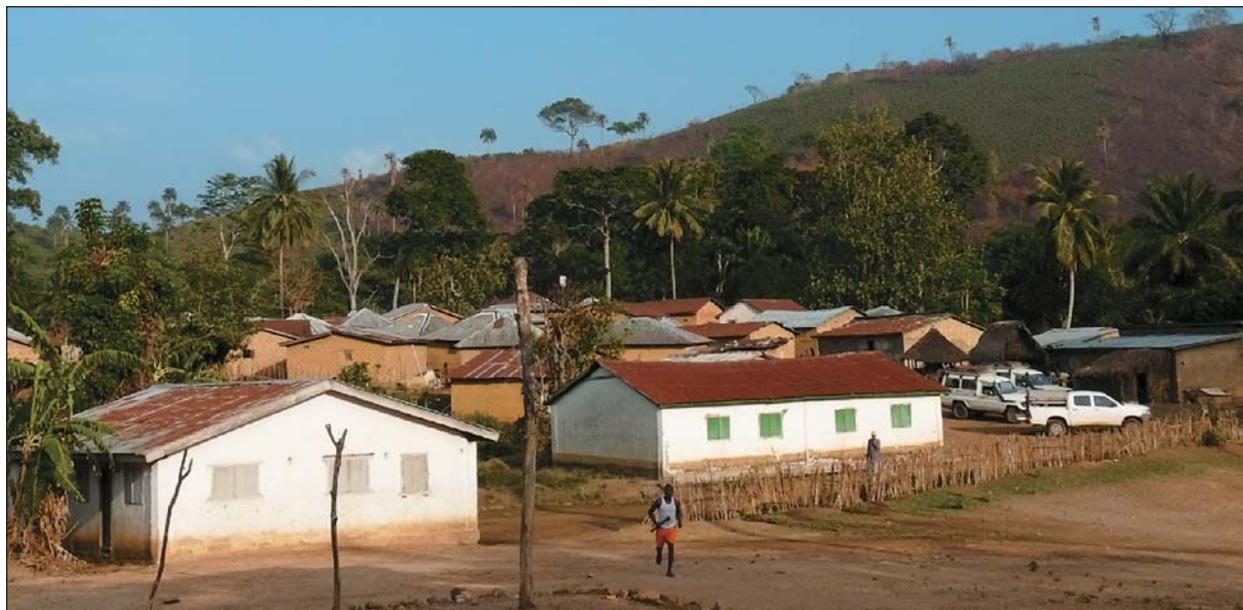
графия ограничивалась странами тропической Центральной Африки, и только один раз, в 1994 г., болезнь проявила себя в Кот-д'Ивуаре. В 1996 г. была отмечена небольшая вспышка в ЮАР, в Йоганнесбурге, но она носила не местный, а завозной характер — из той же Центральной Африки в Йоганнесбург приехал больной турист. Было и еще несколько вспышек в последующие годы [7], но их масштаб был далек от самой первой вспышки 1976 г.

На этом фоне нынешняя эпидемия выглядит весьма необычной и по масштабам, и по географии. Она возникла не в тропической центральной части Африки, а в западной, где в основном пострадали жители Гвинеи, Либерии и Сьерра-Леоне. Те больные и умершие, которые оказались в Мали, США, Испании и в некоторых других странах, изначально были инфицированы в тех же трех западноафриканских странах или заразились от приехавших оттуда людей.

Почему вирус Эбола появился на западе Африки? Этот вопрос с самого начала озадачил специалистов: ведь до этого он встречался только в центральной Африке — там, где настоящие джунгли, много дождей и несметное количество самых разных животных, среди которых есть носители и переносчики вируса. Правда, один раз он проявился в Кот-д'Ивуаре — это фактически Западная Африка, но ведь там джунгли все-таки есть, только они на юге. Заболел всего один человек: он, к счастью,



Вспышки лихорадки Эбола в 1976—2014 гг.



Деревня Мелианду, где жил двухлетний мальчик Эмиль Оуамоуно — первая жертва эпидемии, и обгоревшее дерево, где обитали летучие мыши — возможные источники инфекции [9]. Стрелка указывает на палку, которую, вероятно, оставили играющие там дети.

выздоровел, но от него был выделен новый вид вируса Эбола, который назвали Тай Форест (*Tai Forest ebolavirus*, СЕВОВ*), по названию леса [7]. Сейчас же вспышка вызвана штаммами близкого родственника вируса Заир (*Zaire ebolavirus*,

* Систематика филовирюсов, к которым относится и вирус Эбола, неоднократно менялась. Автор статьи использует принятые в профессиональной литературе сокращения названий видов вируса: ZEBOV — для *Zaire ebolavirus*, SEBOV — *Sudan ebolavirus*, BEBOV — *Bundibugyo ebolavirus*, СЕВОВ — *Tai Forest ebolavirus*, REBOV — *Reston ebolavirus*. — Примеч. ред.

ZEBOV), выявленного еще в 2004 г. в ДРК. Нынешние штаммы отличаются от вируса Заир 2004 г., но не очень сильно, учитывая, что с тех пор прошло более 10 лет [8]. Следует также отметить, что текущая эпидемия началась в географически близких районах Гвинеи, Либерии и Сьерра-Леоне, и именно там, в месте стыка границ трех стран, есть тропические леса. И тут возникает вопрос: как туда попал вирус Эбола из ДРК? Ответа пока нет.

Ученые попытались выяснить, где и как заразился маленький Эмиль [9]. Установлено, что он часто играл около старого дерева с большим дуп-

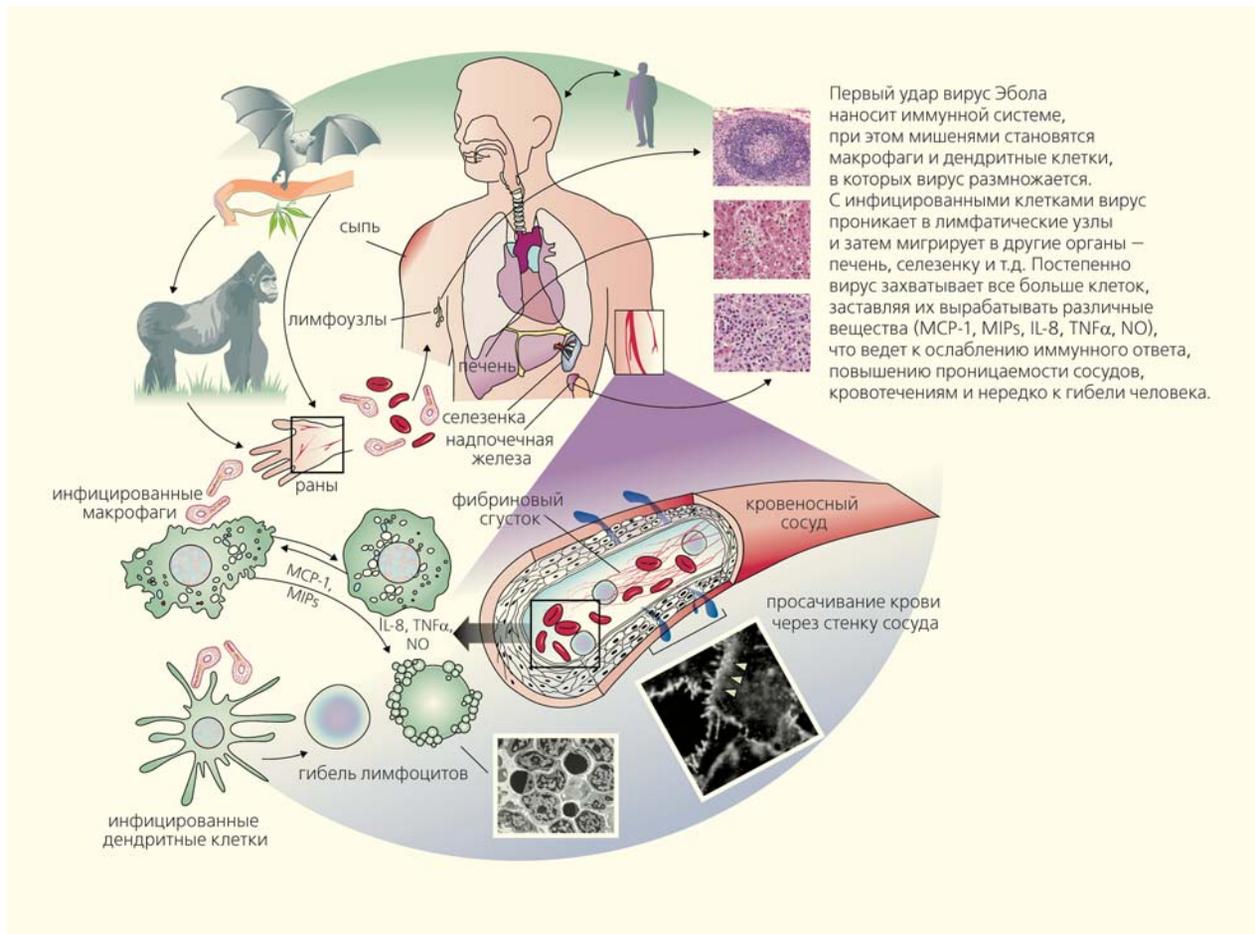
лом, в котором жили насекомоядные летучие мыши (*Mops condylurus*). На этом основании был сделан, как теперь ясно, несколько поспешный вывод о том, что именно эти животные и были источником инфекции. Однако дело в том, что выделить вирус из них ученым не удалось. Прошлой весной дерево обгорело, и выводы были фактически сделаны только на основании того, что при пожаре очевидцы видели множество летучих мышей, вылетевших из дупла. Как известно, маленькие дети, возясь на природе, имеют близкие контакты со всеми бегающими, прыгающими и ползающими существами, начиная с дождевых червей и насекомых и кончая кошками, собаками и мелкими грызунами. От кого заразился этот бедный мальчик, мы пока так и не знаем и, по всей видимости, теперь уже никогда не узнаем.

Геморрагической лихорадкой, возбудитель которой получил в 1976 г. название «вирус Эбола», в Экваториальной Африке, вероятно, болели и раньше, правда, не в таких масштабах, как сейчас. Но исходный природный источник вируса (его природный резервуар, как говорят эпидемиологи) долгое время оставался для ученых загадкой, причем, до конца она не решена и сейчас.

Еще в 1976 г. при расследовании вспышки лихорадки в Судане на хлопкообрабатывающей фабрике эпидемиологи обратили внимание на большое количество летучих мышей под крышей склада. Но лишь годы спустя, когда вспышки лихорадки Эбола участились (а с 2000 г. по 2005 г. они случались в тропической Африке ежегодно), был организован ряд экспедиций для выявления природных хозяев вируса Эбола. Летучих мышей при этом обследовали особенно внимательно.

В результате у западноафриканских шимпанзе (*Pan troglodytes verus*) был найден вирус СIEBOV (болезнетворный для человека), а у яванских макак-крабоедов (*Macaca fascicularis*) и филиппинских домашних свиней — REBOV (непатогенный для человека). Обратите внимание: REBOV — не близкий, но все же родственник африканских вирусов, — был выявлен у обезьян в Юго-Восточной Азии! Поразительно, но этот вирус впервые обнаружили не в странах Юго-Восточной Азии, а в США, в карантинном изоляторе у обезьян, вывезенных для экспериментов из Юго-Восточной Азии!

Фрагменты генетического материала вируса Эбола удалось также выявить в тканях умерших



Циркуляция и патогенез вируса Эбола [10].



Наиболее вероятные природные хозяева вируса Эбола: насекомоядная летучая мышь, западноафриканский шимпанзе и яванский макак-крабод.

flickr.com

западноафриканских равнинных горилл (*Gorilla gorilla gorilla*) и центральноафриканских шимпанзе. И, что, пожалуй, наиболее важно, фрагменты вируса были найдены в Африке у клинически здоровых летучих мышей разных видов. Это означало, что летучие мыши могут быть носителями вируса без признаков заболевания, т.е. хроническими носителями — резервуаром вируса в природе. А это и есть главное условие поддержания циркуляции вируса Эбола в природе. Если человек или человекообразные обезьяны не вступают в контакт с этими животными, то ничего и не происходит. Впрочем, все эти предположения надо еще окончательно доказать [7].

Почему вирус Эбола пока не побежден?

Вирус Эбола вместе с открытым ранее вирусом Марбург относят к семейству филовирусов (от лат. filamentous — удлинённый). Таксономия этого семейства, описание вирусных частиц (вирионов) и основные сведения об этом семействе имеются в традиционно переиздающемся руководстве по вирусологии, последняя редакция которого вышла в 2013 г. [11]. Их палочковидная форма уникальна для вирусов человека. Такая форма возбудителя лихорадки Эбола осложняет организму выработку иммунного ответа — требуется намного больше молекул антител для нейтрализации вириона, чем в случае шарообразной формы.

У филовирусов есть липидная оболочка, которую они, как и все остальные липидсодержащие вирусы, заимствуют у клетки, где размножились. Имеется только один внешний белок оболочки — гликопротеин, сильно гликозилированный, т.е. модифицированный олигосахаридами, что дополнительно затрудняет выработку иммунного ответа на этот белок. Весь процесс разм-

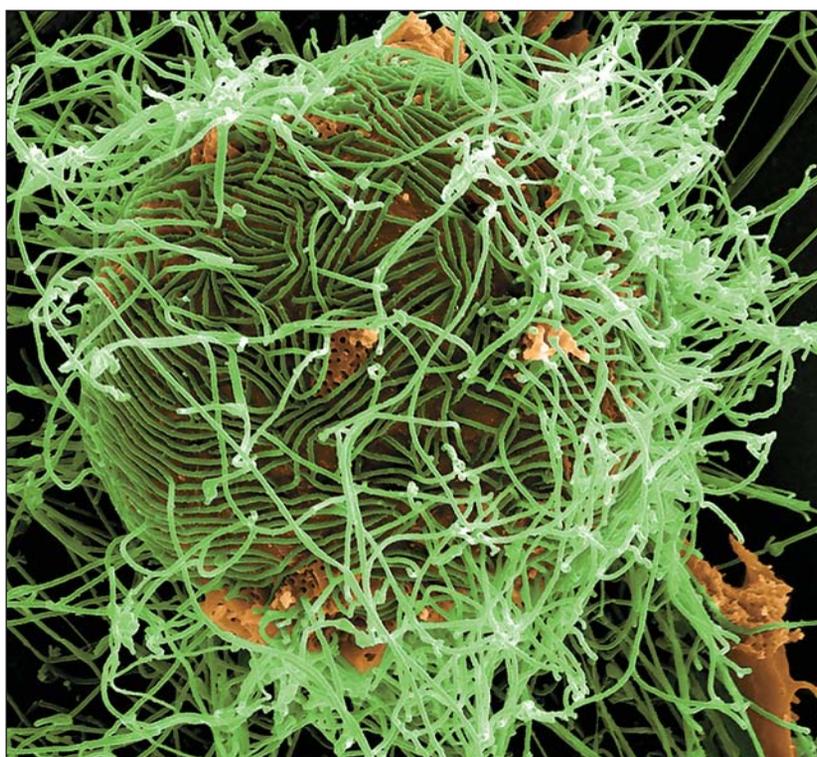
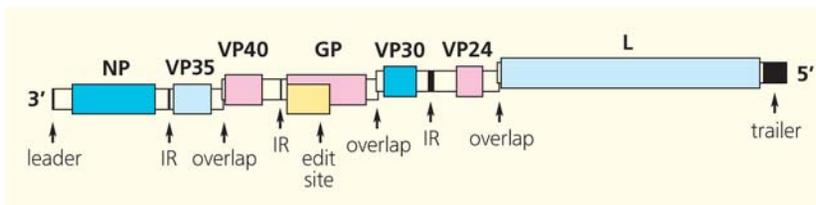
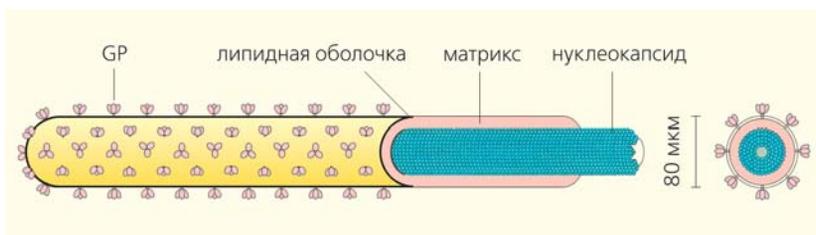


Схема строения вирусной частицы филовирусов, карта генома вируса Эбола и микрофотография его многочисленных вирионов (зеленый цвет), покидающих инфицированную клетку (сканирующая электронная микроскопия; увел. 25 000, phil.cdc.gov/phil/sessionexpired.asp). Видно, что вирион палочковидной формы с отношением диаметра к длине примерно 1:10. На поверхности вирусной частицы расположены шипы, образованные гликопротеином (GP). Выходя из клетки, вирион «надевает» оболочку, используя ее липиды. Нуклеокапсид — комплекс белка нуклеопротеина, полимеразы и нуклеиновой кислоты вируса. Матрикс — совокупность белков, заполняющих пространство между липидной оболочкой и нуклеокапсидом. На карте генома черным цветом отмечены межгенные последовательности, белым — некодирующие последовательности генов. IR — инвертированный (ивертированный) повтор в последовательности генома; leader и trailer — начальная и конечная некодирующие последовательности; overlap — перекрытие последовательностей генов; NP — положительно заряженный белок, образующий комплекс с нуклеиновой кислотой (геномом) вируса VP35, VP40, VP30, VP24 — структурные белки вируса Эбола; L — РНК-зависимая РНК-полимераза. Белки L и VP35 входят в состав полимеразного комплекса.

ножения вируса Эбола происходит в цитоплазме клетки, не затрагивая клеточное ядро. У этих вирусов, кроме того, есть еще белок, мешающий действию интерферона. Таким образом, у них есть несколько способов противостоять иммунной системе человека.

Известные к настоящему времени пять видов вируса Эбола отличаются друг от друга не только генетически, но и показателем летальности для человека. Штаммы вида Заир, которые и циркулируют сейчас в Западной Африке, самые опасные.

Следует отметить, что российские ученые немало и весьма успешно потрудились при исследовании этого экзотического для нашей страны вируса. В частности, мы раньше всех секвенировали геном первого открытого филовируса — вируса Марбург, были одними из первых, кто секвенировал геном вируса Эбола [12, 13]. Полученные результаты легли в основу всех современных методов детекции этого возбудителя на базе полимеразной цепной реакции. Российские исследователи также выявили ряд интересных особенностей этих вирусов, что отражено практически во всех современных руководствах и учебниках по вирусологии. И сейчас несколько ведущих российских ученых входят в состав ряда международных научных групп, внутри которых проводятся обсуждения ключевых вопросов изучения филовирусов и их классификации.

Когда появится вакцина от лихорадки Эбола?

Первое поколение вакцин — на основе инактивированных вирусов — разрабатывали в 90-е годы прошлого века. Такие вакцины получают из живых вирусов, и поэтому их крайне опасно недоинактивировать. Для обезвреживания патогена обычно используются формалин или β-пропиолактон. К числу недос-

татков таких химически инактивированных вакцин относятся сложность получения, опасность недоинактивации и, что особенно тревожно, слабая иммуногенность без добавки специальных полимеров — адъювантов, и вследствие этого — недостаточная напряженность или продолжительность иммунитета.

Второе поколение — это живые вакцины на основе рекомбинантных вирусов. Сейчас в открытых источниках имеется информация о двух наиболее продвинутых разновидностях таких вакцин [12]. Одна из них разрабатывалась в течение нескольких лет во всемирно известной лаборатории особо опасных инфекций в канадском Виннипеге. Эта вакцина создана на основе аттенуированного рекомбинантного штамма вируса везикулярного стоматита (патогенен для лошадей; для людей безвреден) и получила название VSV-EBOV. В ее разработке принимала участие небольшая компания «NewLink Genetics». Вакцина уже прошла успешные испытания на животных. Сейчас ее доработкой занимается компания «Merck». Клинические испытания I фазы на добровольцах выявили единичные побочные эффекты в виде артрита, но его проявления вскоре исчезли.

Вакцина компании «GlaxoSmithKline» исходно получена на основе рекомбинантного обезьяньего аденовируса 3-го типа, в генетический материал которого встроены гены поверхностного белка вируса Эбола. Этот тип аденовируса взят потому, что к нему нет антител у людей. Первая фаза испытаний на добровольцах прошла успешно, вторая тоже [14], и скоро начнется третья фаза, уже в Африке.

В середине января третья компания «Johnson & Johnson» объявила о начале испытаний своей вакцины. Клинические испытания первой фазы организованы Оксфордским университетом, Великобритания. Фактически будут опробованы две вакцины в режиме праймер-бустер. На первом этапе предстоит использовать вакцину на основе человеческого аденовируса, полученную голландской компанией «Crucell». Для второго этапа (через пару месяцев) подготовлена вакцина на основе осповакцины (MVA), созданная датской компанией «Bavarian Nordic». Уже начат набор добровольцев в африканских странах для клинических испытаний II и III фаз. Еще несколько кандидатов в вакцины находятся на более ранних стадиях разработки. В частности, получением вакцины на основе рекомбинантных парамиксовирусов занимаются в хорошо известной Галвестонской национальной лаборатории на базе Медицинской школы Университета Техаса (США).

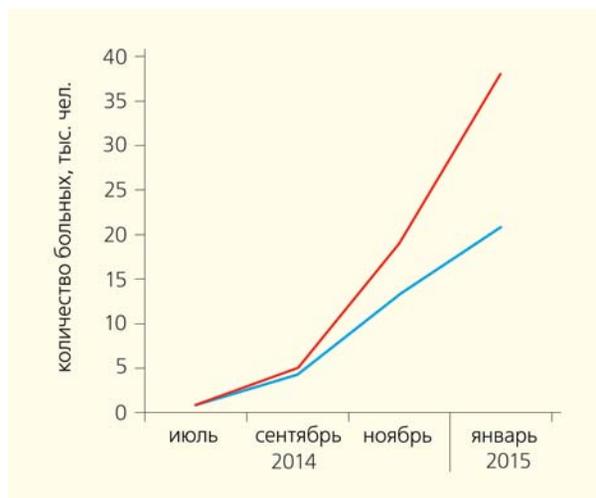
В СМИ также были сообщения о разработках нескольких типов вакцин против вируса Эбола в России, но более подробная информация о них пока недоступна.

Клинические испытания I фазы первых двух вакцин проведены на добровольцах в Африке, Ев-

ропе и США. Клинические испытания последующих фаз организуются уже полностью в Африке, где свирепствует лихорадка Эбола. Вакцинируют, конечно же, только добровольцев, в первую очередь — медицинских работников и работников органов здравоохранения. И есть немалые надежды на то, что по крайней мере некоторые из препаратов окажутся эффективными и снизят угрозу распространения этой опаснейшей инфекции.

* * *

С весны прошлого года команды врачей и эпидемиологов целого ряда стран (Великобритании, Германии, США, Франции и др.) работают в вахтовом режиме в африканских странах, где идет эпидемия. С августа к этим странам присоединилась и Россия, которая поставила в Гвинею мобильный полевой госпиталь и мобильную диагностическую лабораторию, а в январе 2015 г. российская компания «РУСАЛ», финансирующая там добычу бокситов, выделила 10 млн долл. США на борьбу с лихорадкой Эбола в этой стране, а кроме того перечислила в ВОЗ дополнительные средства на борьбу с инфекцией, и в январе же в провинции Пастория открылся построенный Россией комплексный госпиталь. Сейчас уже третья группа ученых и специалистов России работает в Гвинее (совместно с бригадами из других стран). Они анализируют пробы, обучают местных специалистов, расследуют эпидемические цепочки, прописывают инструкции и правила биобезопасности. Работают они совместно с бригадами из других стран. Поэтому есть уверенность в том, что вспышка будет ликвидирована, а специалисты органов здравоохранения африканских стран получают новые знания и умения,



Накопительная динамика числа зараженных вирусом Эбола в Гвинее, Либерии и Сьерра-Леоне с начала эпидемии до 20 января (по данным ВОЗ) и ее пессимистический прогноз, сделанный без учета активной борьбы с инфекцией (по данным специалистов Центра по контролю и предотвращению заболеваний в Атланта, США [14]).

которые помогут им в будущем подавлять такие вспышки в самом их начале.

Реальная динамика числа заболевших лихорадкой Эбола в Гвинее, Либерии и Сьерра-Леоне намного ниже рассчитанной специалистами Центра по контролю и предотвращению заболеваний в Атлантике, США [15]. Это означает, что предпринимаемые противоэпидемические меры эффективны. Надо сказать, что основная деятельность, проводимая специалистами развитых стран в Гвинее, Либерии и Сьерра-Леоне, заключается в санитарно-просветительской и диагностической работе. Дело в том, что в отсутствие вакцины эпидемию можно остановить простыми противоэпидемическими мерами: исключением близких контактов с больными, максимальной биозащитой персонала, инактивацией всех отходов от больных и безопасным для окружающих проведением похоронных обрядов. И как раз с последним большие трудности в африканских странах, поскольку это противоречит местным религиозным обычаям, включающим не только омовение тела родственниками, но и целование лица и рук и контакты с руками (как, в общем-то, принято и у других народов и религий). Однако в Африке это обязательные процедуры, твердые,

устоявшиеся правила. Так что задача у медицинских специалистов крайне непростая: ведь строгое соблюдение мер безопасности местные люди воспринимают как неуважение к обычаям. Запрет их проведения может стоить жизни тем, кто старается ликвидировать эпидемию, и это — реальная африканская действительность.

Также очень нужна и востребована грамотная и высококвалифицированная работа по оперативной диагностике маркеров возбудителя, поскольку первые симптомы практически одинаковы с симптомами желудочно-кишечного заболевания. Поэтому крайне важно не пропустить зараженных вирусом Эбола и в то же время отсеять больных банальными желудочно-кишечными инфекциями.

Отметим, что по данным ВОЗ, с января 2015 г. эпидемия идет на спад: снижается число ежедневно выявляемых больных, и это при многократно усилившемся эпидемиологическом надзоре и мониторинге всех подозрительных случаев. Таков результат огромных усилий, предпринимаемых мировым сообществом для борьбы с этой беспрецедентной вспышкой лихорадки Эбола. И поэтому есть серьезная надежда на то, что с эпидемией скоро справятся. ■

Литература

1. Фукидид. Эпидемия в Аттике // История / Пер. с греч. Ф.Г.Мищенко, С.А.Жебелева. Ред. Э.Д.Фролов. СПб., 1999. Кн.2. Гл.48, 49.
2. *Ebstein W.* Nochmals die Pest des Thukydidies // *Dtsch. med. Wochenschr.* 1899. V.25. № 36. P.594—597. doi: 10.1055/s-0029-1200452
3. *Durack D.T., Littman R.J., Benitez R.M. et al.* Hellenic holocaust: a historical clinico-pathologic conference // *Am. J. Med.* 2000. V.109. №5. P.391—397. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0002-9343(00)00521-0
4. *Papagrigorakis M.J., Yapijakis Ch., Synodinos Ph.N. et al.* DNA examination of ancient dental pulp incriminates typhoid fever as a probable cause of the Plague of Athens // *IJID.* 2006. V.10. №3. P.206—214. doi:10.1016/j.ijid.2005.09.001
5. *Acuna-Soto R., Romero L.C., Maguire J.H.* Large epidemics of hemorrhagic fevers in Mexico 1545—1815 // *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2000. V.62. №6. P.733—739.
6. *Acuna-Soto R., Stable D.W., Cleaveland M.K. et al.* Megadrought and megadeath in 16th century Mexico // *Emerg. Infect. Dis.* 2002. V.8. №4. P.360—362. doi:10.3201/eid0804.010175
7. *Kuhn J.H.* Filoviruses: A compendium of 40 years of epidemiological, clinical and laboratory studies / Ed. Ch.H.Calisher. Wien; N.Y., 2008. doi:10.3201/eid1512.09104
8. *Gire S.K., Goba A., Andersen K.G. et al.* Genomic surveillance elucidates Ebola virus origin and transmission during the 2014 outbreak // *Science.* 2014. V.345. №6202. P.1369—1372. doi:10.1126/science.1259657
9. *Saéz A.M., Weiss S., Nowak K. et al.* Investigating the zoonotic origin of the West African Ebola epidemic // *EMBO Mol. Med.* 2015. V.7. P.17—23. doi:10.15252/emmm.201404792
10. *Feldmann H., Geisbert Th.W.* Ebola haemorrhagic fever // *Lancet.* 2011. V.377. P.849—862. doi:10.1016/S0140-6736(10)60667-8
11. *Feldmann H., Sanchez A., Geisbert Th.W.* Filoviridae: Marburg and Ebola Viruses // *Fields Virology.* 6th edition / Eds D.M.Knipe, P.M.Howley. LWW, 2013. V.1. P.923—956.
12. Букреев А., Колыхалов А., Волчков В. и др. Вирус Марбург: впервые определена нуклеотидная последовательность двух генов // *Мол. генетика, микробиол. и вирусология.* 1991. №4. С.24—30.
13. *Volchikov V., Blinov V., Netesov S.* The envelope glycoprotein of Ebola virus contains an immunosuppressive domain similar to oncogenic retroviruses // *FEBS Letters.* 1992. V.305. №3. P.181—184.
14. *Enserink M.* Ebola vaccines move closer to ultimate test // *Science.* 2015. V.347. №6219. P.219—220. doi:10.1126/science.347.6219.219
15. *Meltzer M.I., Atkins C.Y., Santibanez S. et al.* Estimating the future number of cases in the Ebola epidemic — Liberia and Sierra Leone, 2014—2015 // *Morb. Mortal. Wkly Rep.* 2014. V.63. №3. P.1—14.

Наночастицы золота «управляют» упаковкой ДНК

Ю.М.Евдокимов

В ближайшие годы, как ожидается, производство и использование наночастиц и наноматериалов на их основе будут нарастать. Но связанное с этим появление наночастиц в окружающей среде сопряжено с последствиями, прогнозировать которые сегодня трудно. Высокая проникающая способность нанообъектов (они могут попадать в организм разными путями: через желудочно-кишечный тракт, легкие, кожу и слизистые оболочки, через гематоэнцефалический и гематоплацентарный барьеры) повышает их потенциальную опасность для здоровья человека. Сейчас уже не подлежит сомнению тот факт, что некоторые из них могут оказывать токсическое воздействие на клетки различных тканей. Особый интерес в последнее время вызывают наночастицы на основе благородных металлов (золота, палладия, платины и серебра), которые рассматриваются не только как составляющие промышленных наноматериалов, но и как важнейшие элементы медицинской биотехнологии. С учетом вероятного вредного воздействия на живые организмы вопрос о широкомасштабном использовании этих наночастиц остается предметом дискуссий. Аргументами в ней должна служить надежная информация о механизмах и результатах их влияния.



Юрий Михайлович Евдокимов, доктор химических наук, главный научный сотрудник Института молекулярной биологии им.В.А.Энгельгардта РАН. Область научных интересов — физическая химия биополимеров, биосенсорика и нанотехнология нуклеиновых кислот.

Жидкокристаллические дисперсии ДНК

Нанотехнологии, как известно, позволяют манипулировать с веществом на уровне отдельных атомов и молекул и создавать материалы с уникальной структурой — углеродные нанотрубки, тончайшие полупроводниковые слои, нанокомпозиты. «Сырьем» для производства нанопродукции могут служить не только углерод, кремний, металлы, но и «строительные блоки» биологической природы — молекулы биологического происхождения. Нуклеотиды, аминокислоты, липиды химически многообразны, склонны к спонтанному образованию сложных пространственных структур, а регулируемая сборка «строительных блоков» может идти различными путями, что открывает возможность построить самые разные наноконструкции, обладающие совсем новыми свойствами.

С точки зрения удобства наносборки среди биологических соединений выделяются нуклеиновые кислоты (собственно, только для этих молекул и получены пока реальные практические результаты). Короткие (длиной 50–100 нм) двухцепочечные молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты имеют довольно высокую жесткость, а потому особенно подходят как материал для «наностроительства».

Свойства двумерных и трехмерных структур из нуклеиновых кислот легко регулировать, изменяя среду, в которой происходит сборка, т.е. используя разные растворители. В конструкции из ДНК можно встраивать другие элементы, например биологически активные вещества, присоединяющиеся к азотистым основаниям. Надо отметить, что одноцепочечные и двухцепочечные молекулы нукле-

иновых кислот с заранее заданными последовательностями азотистых оснований сегодня уже производят в промышленных масштабах.

Стратегия создания наноконструкций, содержащих двухцепочечные молекулы нуклеиновых кислот, которая разработана в лаборатории конденсированного состояния нуклеиновых кислот Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН [1], принципиально отличается от ранее предложенных вариантов. Наш подход предполагает формировать упорядоченную трехмерную структуру «в один шаг», что основано на использовании не единичных молекул нуклеиновых кислот, а их жидкокристаллических дисперсий*.

Прежде чем обсуждать вопрос, существует ли жидкокристаллическое состояние нуклеиновых кислот [2], кратко напомним особенности жидкокристаллических фаз (мезофаз), формирующихся, в частности, при определенной концентрации в растворе жестких линейных палочкообразных молекул. Существенно, что их длина заметно превышает диаметр (сферические или гибкие молекулы жидких кристаллов не образуют). Жидкий кристалл в простейшем случае можно представить как структуру, в которой соседние молекулы хотя и упорядочены, но сохраняют некоторые степени свободы. В нашем случае интерес представляют два типа жидких кристаллов — нематические (нематики) и холестерические (закрученные нематики). Нематик — жидкокристаллическая фаза, в которой центры масс длинных осей молекул-стержней расположены в пространстве хаотично, но сами молекулы ориентированы вдоль «директора», указывающего направление преимущественной ориентации длинных осей молекул. Директор феноменологически характеризует дальний порядок в расположении молекул; в нематиках он наблюдается только по отношению к директору. При этом молекулы сохраняют диффузионные степени свободы, характерные для раствора. Зрительным аналогом такой системы могут служить массивы бревен, сплавляемые по реке. Движение каждого бревна практически не зависит от движения соседа, но тем не менее направление у всех одно — оно задается течением реки, которое можно рассматривать в качестве «директора». Плывущие бревна образуют своеобразный «слой».

Холестерические жидкие кристаллы (ХЖК), или холестерики, похожи по структуре на нематики, но имеют принципиальное отличие. Модель представляет ХЖК как совокупность нематических слоев. В пределах слоя центры масс молекул лежат без какого-либо упорядочения, и молекулы могут легко диффундировать из слоя в слой. Однако каждый последующий слой поворачивается

на малый угол по отношению к предыдущему, что приводит к образованию спиральной структуры, закрученной вправо или влево.

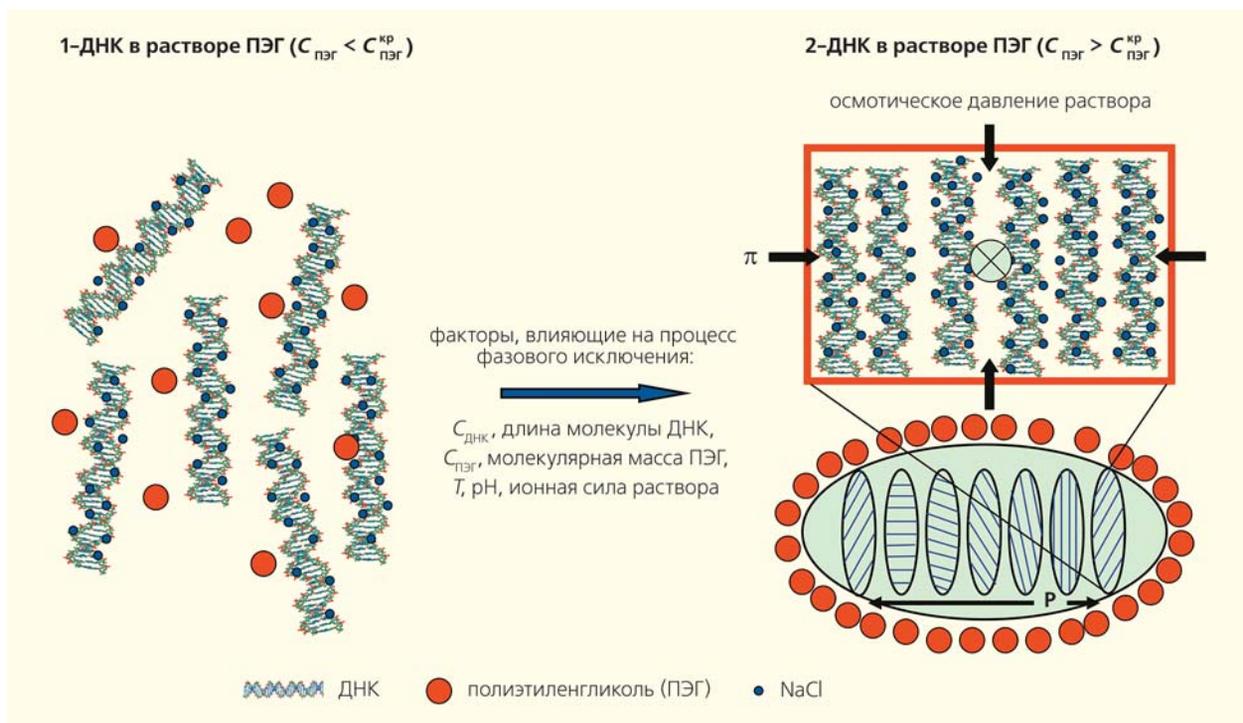
Можно добавить, что происхождение термина «холестерик» связано с тем, что первые изученные жидкие кристаллы с такой пространственной закруткой состояли из производных холестерина. Как правило, кристаллы-холестерики получают из соединений с ярко выраженной анизотропией (например, со спиральной структурой или с оптической активностью). Именно такими свойствами обладают молекулы ДНК. Можно сказать, что стремление к спиральной холестерической упаковке — «врожденное» свойство молекул нуклеиновых кислот.

В случае жидких кристаллов низкомолекулярных соединений представление о нематических слоях, в которых располагаются молекулы, носит условный характер. Слой не может рассматриваться в качестве реального физического объекта. Понятие «слоя» используется здесь в целях наглядного представления о таких структурах и их графического изображения. Однако при образовании холестерических жидких кристаллов из молекул полимеров и особенно в результате так называемого фазового исключения жестких линейных молекул двухцепочечной ДНК, имеющей молекулярную массу порядка 10^6 Да (и даже больше!), диффузия упорядоченных соседних молекул ДНК резко ограничивается. В этом случае, в принципе, не исключена возможность реального существования слоев как физических структур. По этому поводу интенсивные дискуссии ученых разных стран продолжаются до сих пор, но термин «квazi-нематический слой» (т.е. похожий на нематический) в литературе широко используется.

Жидкокристаллические дисперсии образуются, когда жесткие «стерженьки» из молекул ДНК выталкиваются из водного или водно-солевого раствора полимера и группируются вместе [2]. Этот процесс и называется фазовым исключением. В результате получаются довольно крупные частицы — жидкокристаллические «капельки» ДНК размером около 0.5 мкм. Их стабильность зависит от свойств раствора.

Очень важно, что при образовании жидкокристаллической дисперсии молекулы нуклеиновых кислот сохраняют способность вступать в химические реакции, т.е. образовывать комплексы с другими веществами, в том числе с металлами. Это открывает путь к созданию гибридных материалов, объединяющих электронные свойства металлических наночастиц (поглощение света, электропроводность, магнетизм и т.д.) со свойствами, характерными для жидких кристаллов (текучестью, анизотропией и т.д.). Сказанное означает, что у нанотехнологов появляется возможность направленно изменять оптические и электрооптические характеристики жидких кристаллов под действием наночастиц как «управляющих» добавок,

* Дисперсиями химии называют дисперсные, т.е. микрогетерогенные, системы из двух (или более) фаз, где одна из них в виде мелких частиц распределена в сплошной среде.



Принципиальная схема формирования жидкокристаллической дисперсии двухцепочечной ДНК. Подвижность молекул ДНК в квазинематических слоях придает частице свойства жидкости, а упорядоченное расположение ДНК — свойства кристалла, т.е. для частиц характерна жидкокристаллическая упаковка. Частица дисперсии существует только при определенном осмотическом давлении раствора, ее нельзя «взять в руки». $C_{\text{ДНК}}$ и $C_{\text{ПЭГ}}$ — концентрации в растворе ДНК и ПЭГ соответственно.

и в итоге можно рассчитывать на синтез материалов с новыми свойствами.

В 2010 г. в нашей лаборатории были начаты исследования свойств жидкокристаллических дисперсий ДНК, обработанных наночастицами золота (нано-Au) [3]. Предстояло выяснить, в какой степени химические и физические свойства частиц дисперсий ДНК зависят от размера и формы нано-Au. С биологической же и медицинской точек зрения интерес к системе (ЖКД ДНК + нано-Au) обусловлен накапливающейся информацией о вредном воздействии нано-Au на генетический материал живых организмов.

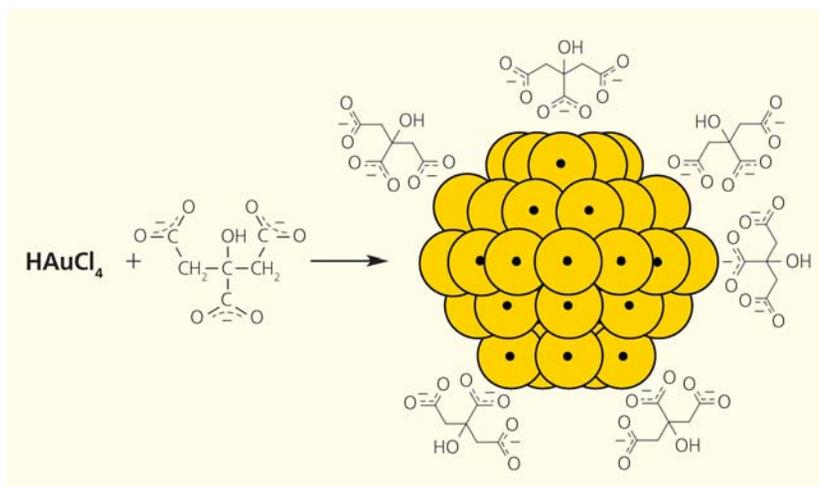
Учитывая сказанное, целесообразно кратко остановиться на свойствах нано-Au и самих частиц ДНК.

Элементы системы

Квазиметаллические наночастицы золота могут содержать от сотен до многих тысяч атомов, иметь размеры от единиц до сотен нанометров и обладать разной пространственной формой. Так, нано-Au малого размера из 300 атомов представляет собой октаэдр. Грубая оценка показывает, что у частицы диаметром 2 нм около 60% всех атомов находятся на поверхности; их некомпенсированная валентность обуславливает высокую

реакционную активность. Разные поверхностные слои в фасеточной структуре нано-Au определяют их неодинаковую полярность и эффективность диполь-дипольного взаимодействия соседних наночастиц, самосборки нано-Au разной формы, связывания лигандов. Для золота характерна способность к комплексообразованию с аминами, аммиаком, кислород- и серосодержащими лигандами. Поэтому в процессе получения наночастиц Au на их поверхности могут появляться различные ионы, например цитрат-ион (анион лимонной кислоты). Они определяют не только суммарный заряд частиц (который может быть как отрицательным, так и положительным), но и высокую стабильность гидрозоля Au (отталкивание между этими ионами препятствует агрегации наночастиц). Связанные с разными гранями нано-Au монодентатные лиганды (они занимают одно координационное место) могут быть заменены на полидентатные (содержащие несколько донорных атомов). Высказана также точка зрения, согласно которой нано-Au могут менять форму как «желе», претерпевая структурные деформации в зависимости от типа субстрата.

Что же касается взаимодействия нано-Au, поверхность которых модифицирована молекулами, содержащими на противоположных концах сульфгидрильные и аминогруппы (придающими частицам положительный заряд), с линейными од-



Структура наночастицы Au, стабилизированной цитратом анионной формы.

ноцепочечными молекулами ДНК, то такие исследования ведутся с 1996 г. (первые работы в этой области были выполнены американскими химиками Ч.Миркиным и П.Аливисатосом). Было показано, что положительно заряженные нано-Au, химически связанные с поверхностью молекул одноцепочечных ДНК, не препятствуют гибридизации этих молекул. В результате гибридизации могут быть получены плоские планарные структуры типа (ДНК... Au... ДНК... Au... ДНК... Au... ДНК).

А теперь остановимся на особенностях частиц жидкокристаллических дисперсий ДНК, формируемых в результате фазового исключения (конденсации) молекул двухцепочечных ДНК (их средняя молекулярная масса $\sim(0.6-0.8) \cdot 10^6$ Да) из водно-солевых растворов полимеров, например полиэтиленгликоля (ПЭГ). Оценки, сделанные на основе данных седиментационного анализа, рассеяния УФ-излучения, динамического рассеяния света и др., показывают, что средний диаметр частиц ~ 500 нм и каждая при массе $\sim 10^{10}$ Да содержит примерно 10^4 молекул ДНК (молекулы водорастворимого полимера в ее состав не входят). Размер частицы определяется молекулярной массой ДНК и величиной осмотического давления раствора ПЭГ. При концентрации ПЭГ ниже «критического» значения происходит дезинтеграция (распад) частиц дисперсии, сопровождаемая переходом молекул ДНК из «конденсированного» в исходное изотропное состояние. Для рассматриваемых частиц характерен ряд специфических свойств, в частности высокая (в пределах от 160 до 600 мг/мл!) локальная концентрация молекул ДНК, упакованных в виде квазинематических слоев. В образованной слоевой структуре расстояние между соседними молекулами ДНК составляет всего от 2.5 до 5.0 нм. Упорядоченность молекул ДНК придает частицам свойства кристалла, но при этом соседние молекулы в квазинематических слоях сохраняют по сути свойства жидкости. А это означает, что получен-

ная структура представляет собой жидкий кристалл. Взаимодействие между соседними молекулами ДНК благодаря их хиральности приводит к тому, что каждый последующий квазинематический слой поворачивается на определенный угол ($\sim 0.5^\circ$) по отношению к предыдущему. В результате такого поворота формируется пространственно закрученная, т.е. холестерическая, структура частицы жидкокристаллической дисперсии (ХЖКД).

Обратим внимание и на еще одно важное свойство частиц. В молекулах ДНК имеются хромофоры (азотистые основания, поглощающие в ультрафиолетовой области спектра), которые достаточно жестко фиксированы (угол наклона оснований по отношению к длинной оси молекул ДНК составляет около 90°). Формирование или дезинтеграция частиц ХЖКД ДНК легко детектируется по изменению оптической активности (способности вращать плоскость поляризации излучения), которая в десятки и сотни раз превышает оптическую активность единичных молекул ДНК.

Действительно, теоретические расчеты, проведенные В.А.Беляковым (Институт теоретической физики им.Л.Д.Ландау РАН) и С.В.Семеновым (НИЦ «Курчатовский институт») показали [4], что спирально-закрученная упаковка соседних квазинематических слоев из молекул ДНК сопровождается появлением очень интенсивной (аномальной) полосы в спектре кругового дихроизма* в области поглощения хромофоров ДНК. Эта полоса служит критерием «качества» созданного холестерика ДНК.

Таким образом, при исследовании физико-химических свойств жидкокристаллических дисперсий ДНК получена подробная информация об условиях их формирования и факторах (ионной силе, pH, температуре и «критической» величине осмотического давления раствора), позволяющих управлять свойствами этих своего рода «капель» концентрированного раствора ДНК [2].

Необходимо отметить, что в настоящее время исследования системы (ХЖКД ДНК + нано-Au) проводятся по двум направлениям, на которых мы далее остановимся. В первом случае изучаются действие нано-Au на отдельные линейные двухцепочечные молекулы ДНК и процесс формирования ХЖКД из полученных комплексов. Во вто-

* Круговой дихроизм — различие в поглощении оптически активной средой право- и левополяризованного света (в эксперименте регистрируют разность между соответствующими коэффициентами поглощения в зависимости от длины волны).

ром — действие нано-Au на уже образовавшиеся из двухцепочечных ДНК пространственные структуры частиц ХЖКД.

Что происходит с одной молекулой?

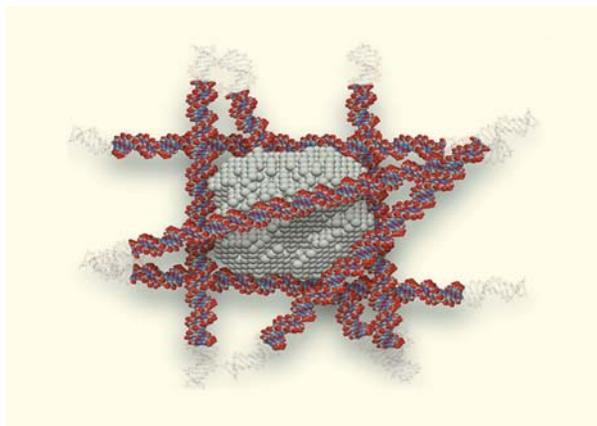
Как уже говорилось, фазовое исключение линейных, «жестких» молекул ДНК из водно-солевого раствора ПЭГ сопровождается упорядоченной упаковкой соседних молекул и образованием ХЖКД, характеризуемой аномальной полосой в спектре кругового дихроизма. Для их регистрации О.Н.Компанцом (Институт спектроскопии РАН) был разработан портативный дихрометр [4, 5], не имеющий аналогов как в нашей стране, так и за рубежом.

Если обработать исходные молекулы нуклеиновых кислот отрицательно заряженными наночастицами Au (причем даже при чрезвычайно низкой концентрации последних), то, согласно данным, полученным в нашей лаборатории В.И.Саяновым [6], происходит уменьшение амплитуды аномальной полосы в спектре кругового дихроизма дисперсий, которые были сформированы из таких молекул. Иными словами, дисперсии изменяют свои свойства. Что же они представляют собой после обработки нано-Au?

Ответить на этот вопрос удалось другому нашему коллеге, С.Г.Скуридину, с помощью конфокальной микроскопии [7, 8]. Дело в том, что исходные частицы ХЖКД ДНК, сформированные при высокой концентрации ПЭГ (выше «критического» значения) и обработанные флуоресцентным цианиновым красителем, можно видеть в конфокальном микроскопе как независимые светящиеся объекты. Разбавление растворителя ниже «критического» значения сопровождается не только дезинтеграцией частиц дисперсии, но и исчезновением свечения молекул ДНК.

Изображения частиц дисперсии из молекул двухцепочечной ДНК, обработанных нано-Au размером ~15 нм, после добавления красителя практически не отличаются от вида частиц исходной ХЖКД ДНК, т.е. до обработки золотом. Однако разбавление раствора ПЭГ до концентрации ниже «критического» значения больше не приводит к исчезновению конфокального изображения частиц — их по-прежнему можно наблюдать в виде светящихся объектов. Это возможно только в одном случае: нано-Au «сшивают» сближающиеся молекулы ДНК, и образующиеся комплексы (нано-Au—ДНК) могут существовать даже в условиях низкого осмотического давления раствора.

Понять, в каком состоянии находятся молекулы ДНК в образующихся частицах дисперсии, помогли данные малоуглового рассеяния рентгеновских лучей. Проведенные Э.В.Штыковой (Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН) эксперимент и анализ его результатов позволили



Гипотетическая структура комплекса наночастицы золота с молекулами двухцепочечной ДНК. В рисунке использована восстановленная по данным малоуглового рентгеновского рассеяния пространственная структура нано-Au (15 нм).

сделать несколько важных выводов [7, 9—11]. Так, величина малоуглового рефлекса, отражающего упорядоченное состояние соседних молекул ДНК в частицах исходной ХЖКД, быстро уменьшается по мере увеличения содержания нано-Au в частицах дисперсии. При высокой концентрации нано-Au в частицах дисперсии упорядоченная упаковка соседних молекул двухцепочечных ДНК вообще отсутствует. И наконец, фасеточная структура наночастиц золота дает возможность одной частице связать сразу несколько молекул ДНК. Следовательно, нано-Au, «объединяясь» с линейными молекулами ДНК, препятствуют их сближению и параллельной упаковке, «запрещая» формирование частиц ХЖКД, в которых эти молекулы должны находиться в упорядоченном состоянии. Наночастицы специфически «сшивают» соседние молекулы, что приводит к формированию агрегатов с неупорядоченным расположением молекул ДНК при их фазовом исключении. Это означает, что уменьшение амплитуды аномальной полосы в спектре кругового дихроизма в данном случае отражает отсутствие регулярного пространственного упорядочения соседних молекул ДНК, необходимого для образования частиц холестерических жидкокристаллических дисперсий.

На основе приведенных выше данных Е.И.Кац (Институт теоретической физики им.Л.Д.Ландау РАН) предложил гипотезу о возможном механизме взаимодействия нуклеиновых кислот с нано-Au, связанном с появлением у наночастиц дополнительного дипольного момента [11]. Индуцированная взаимодействием с ДНК поляризация частиц зависит от их размера — она тем выше, чем частицы больше. Можно сказать, что нано-Au большего размера будут эффективнее удерживаться вблизи молекул ДНК, инициируя образование агрегатов из соседних молекул при более низкой концентрации, что и наблюдается на опыте.

Из «жидкого» состояния в «твердое»

Действие нано-Au на молекулы нуклеиновых кислот, фиксированных в пространственной структуре ХЖКД, резко отличается от ситуации, рассмотренной выше. Учитывая свойства квазинематических слоев, образованных молекулами ДНК, логично предположить следующее. Во-первых, нано-Au любого размера могут взаимодействовать как с «поверхностными» молекулами ДНК, так и с парами азотистых оснований концевых групп этих молекул в квазинематических слоях, образуя комплексы. Связывание даже небольшого числа отрицательно заряженных нано-Au с молекулами ДНК приводит к формированию диполей. Диполи (ДНК + нано-Au) в соседних квазинематических слоях будут стараться ориентироваться параллельно. Связывание наночастиц, не оказывая существенного влияния на силы (стерические и т.д.), которые определяют стремление соседних молекул ДНК к параллельному расположению, может вызывать изменение величины вкладов (в частности, анизотропного вклада в вандерваальсово взаимодействие), вызывающих спиральную закрутку соседних квазинематических слоев из молекул ДНК. В этом случае спиральная закрутка соседних квазинематических слоев будет нарушаться, и угол закрутки между этими слоями (исначально $\sim 0.5^\circ$) может обратиться в ноль, что эквивалентно раскрутке спиральной структуры частицы ХЖКД, сопровождаемой исчезновением аномальной полосы в спектре кругового дихроизма.

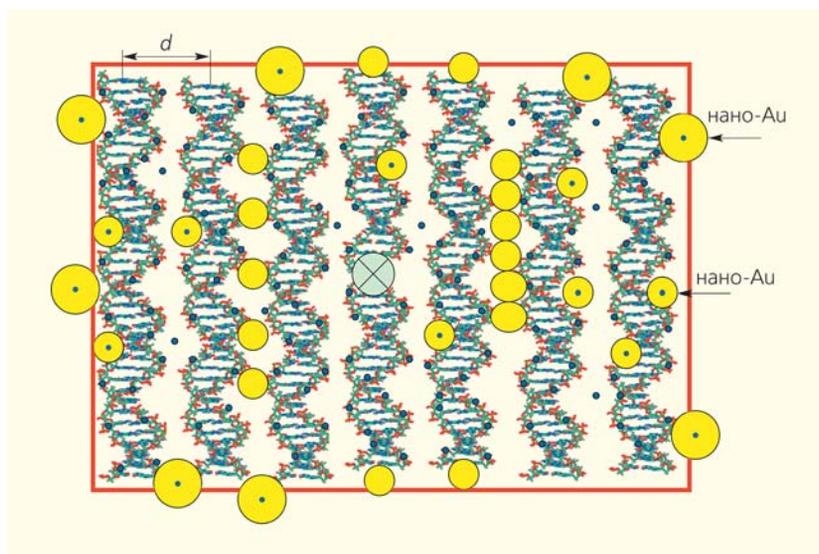
Во-вторых, нано-Au, размер которых сопоставим со «свободным» пространством между молекулами ДНК в квазинематических слоях, способны диффундировать между ними. В этом случае появляется возможность не только для простран-

ственной фиксации отдельных нано-Au, но и для образования линейных ансамблей из соседних наночастиц золота. Формирование ансамблей из соседних нано-Au может также влиять на взаимодействие между соседними квазинематическими слоями, а следовательно, и на величину аномальной оптической активности частиц ХЖКД.

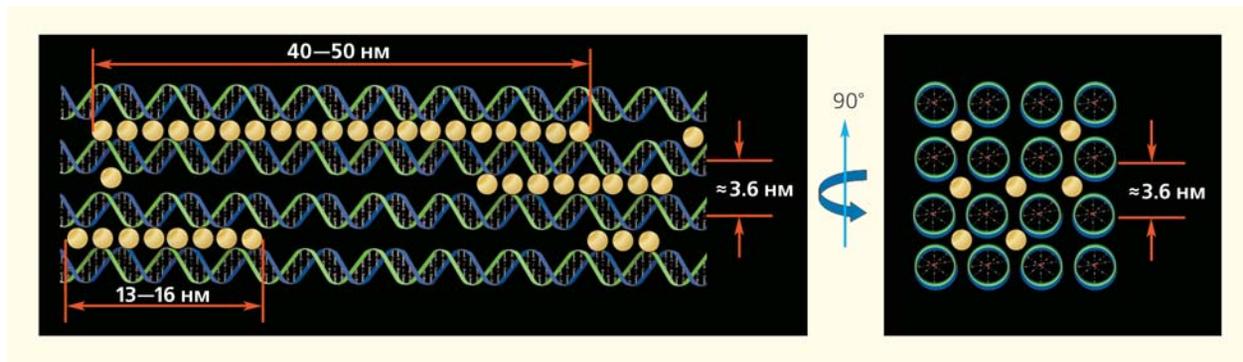
Обработка нано-Au (~ 2 нм) ХЖКД, сформированной из линейных двухцепочечных молекул, сопровождается уменьшением амплитуды аномальной полосы. Оптический эффект достигает своего насыщения при 5–10 нано-Au, приходящихся на одну молекулу ДНК. Эта концентрация приблизительно на порядок выше по сравнению с концентрацией нано-Au, которая «запрещает» формирование холестерика из исходных линейных молекул ДНК. Такое различие вполне объяснимо — оно отражает «коллективное» поведение соседних молекул ДНК в частицах ХЖКД. Зато при использовании нано-Au размером 5.0 и 15.0 нм величина аномальной оптической активности ХЖКД ДНК не меняется или ее изменение весьма незначительно. Результаты моделирования, проведенного Н.Г.Хлебцовым (Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов), свидетельствуют в пользу образования линейных кластеров из нано-Au [7, 9–11].

Для проверки этого предположения Штыкова вновь использовала метод малоуглового рентгеновского рассеяния [7, 9–11]. Анализ показал, что упорядоченность, характерная для соседних молекул ДНК в частицах ХЖКД, не нарушается, а расстояние между молекулами если и увеличивается, то незначительно. Но теперь в «свободном» пространстве между молекулами ДНК, упорядоченными в квазинематических слоях частиц ХЖКД, присутствуют линейные кластеры из нано-Au, длина которых достигает 40–50 нм. Их образование приводит к двум следствиям. Во-первых, к нарушению пространственного расположения соседних квазинематических слоев, спиральная закрутка которых меняется, что сопровождается изменением аномальной оптической активности. Во-вторых, к тому, что взаимодействие между этими молекулами, реализуемое как через единичные нано-Au, так и через протяженные кластеры нано-Au, усиливается, что приводит «сшиванию» соседних молекул ДНК в квазинематических слоях без изменения расстояния между молекулами.

В этих условиях образуется интегрированная структура, включающая практически все молекулы ДНК одной частицы.



Возможные места связывания наночастиц золота разного размера с двухцепочечными молекулами ДНК, фиксированными в квазинематических слоях частиц ХЖКД.



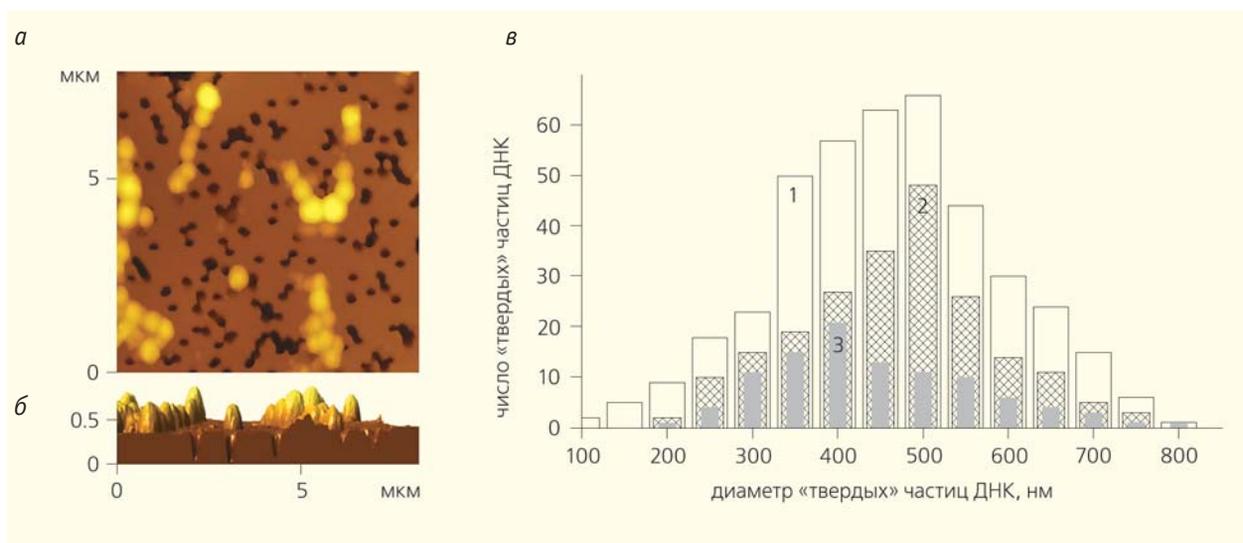
Гипотетическая модель расположения линейных кластеров из наночастиц золота в частицах ХЖКД ДНК.

Растворимость такой структуры, имеющей высокую молекулярную массу, уменьшается, а ее стабильность определяется не свойствами исходного раствора ПЭГ, а числом и свойствами единичных нано-Au и кластеров наночастиц золота в ее составе. Это означает, что происходит переход частиц ХЖКД ДНК из «жидкого» состояния в «твердое». Твердая структура «позолоченных» частиц ХЖКД ДНК позволяет им существовать даже в отсутствие высокого осмотического давления раствора.

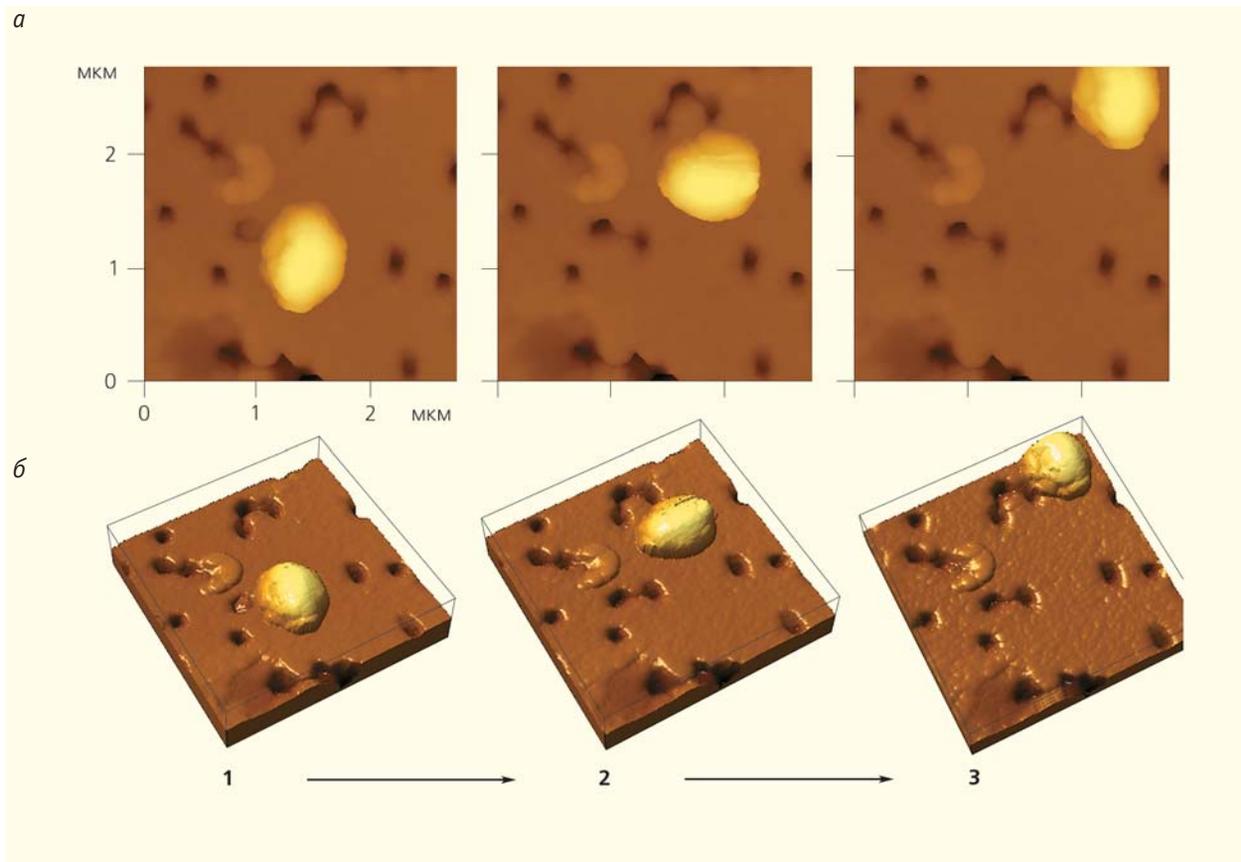
Поэтому возникает возможность иммобилизовать твердые частицы на поверхности — например, ядерного мембранного фильтра, который «пропускает» окружающую жидкость. С помощью атомно-силовой микроскопии сотрудник нашего института В.И.Попенко и М.Н.Савватеев из компании АИСТ-НТ (Зеленоград) зарегистри-

ровали «позолоченные» частицы ХЖКД ДНК разного вида [9, 11]. Форма частиц оказалась близкой к сфероцилиндрической, размеры лежат в пределах 100–1000 нм (средний размер — тоже 500 нм, что и у исходных частиц ХЖКД ДНК). Одна твердая частица содержит примерно $1.6 \cdot 10^6$ молекул ДНК, молекулярная масса одной частицы составляет $(1.1–1.2) \cdot 10^{10}$ Да — полученные данные тоже вполне близки к параметрам, приведенным в начале статьи для «жидких» частиц [8].

Отличительная особенность «твердых» частиц комплекса (ДНК–нано-Au) состоит в том, что они слабо связаны с поверхностью фильтра. Это приводит к тому, что «позолоченные» частицы ХЖКД ДНК перемещаются по поверхности фильтра при приближении микромеханического зонда атомно-силового микроскопа и их можно фиксировать в определенном месте на поверхности.



Изображения «позолоченных» частиц ХЖКД ДНК, иммобилизованных на поверхности мембранного фильтра, полученные при помощи атомно-силового микроскопа (а — вид сверху, б — вид сбоку; темные точки — отверстия в ядерном мембранном фильтре). Гистограммы распределения по размерам «твердых» частиц ХЖКД ДНК, полученных разными методами: 1 — молекулы двухцепочечных ДНК сшиты наномостиками; 2 — молекулы двухцепочечных ДНК сшиты ионами гадолиния; 3 — между молекулами двухцепочечных ДНК образованы кластеры из наночастиц золота (в).



Полученные при помощи атомно-силового микроскопа изображения последовательных положений на ядерном мембранном фильтре «позолоченной» частицы ДНК (*a* — вид сверху, *б* — вид сбоку). При подталкивании микромеханическим зондом атомно-силового микроскопа твердая частица ДНК из положения 1 перемещается в положение 2, а затем в 3.

Таким образом, приведенные выше результаты показывают, что крайне низкая концентрация нано-Au (несколько нано-Au на молекулу двухцепочечной ДНК) не только запрещает образование упорядоченной структуры из линейных двухцепочечных молекул ДНК при их фазовом исключении, инициируя неспецифическую агрегацию этих молекул, но и вызывает нарушение пространственной структуры частиц ХЖКД ДНК. Можно сказать, что нано-Au «перепрограммируют» поведение ДНК. С учетом этого соображения, свойства нано-Au представляют большой интерес с биологической точки зрения.

Наночастицы Au генотоксичны?

Нужно иметь в виду, что наночастицы золота, проникая в организм животного, вызывают целый спектр нежелательных последствий: дисфункцию клеток эндотелия и системы свертывания крови, нарушение регуляции клеточного цикла, повреждение митохондрий, сбой функций фагоцитирующих клеток, воспалительные процессы, образование активных форм кислорода и окислитель-

ный стресс, денатурацию и деградацию белков, нарушение иммунологической толерантности.

Хотя цитотоксичность нано-Au *in vitro* и *in vivo* изучали несколько исследовательских групп в разных странах, пока информация о биологических эффектах, вызываемых этими частицами, противоречива, поскольку очень сложно сопоставить механизм их действия в разных биологических системах. Большое внимание уделяется выяснению влияния нано-Au на молекулы ДНК, в связи с чем полученные нами результаты приобретают особый вес — они могут способствовать объяснению причин цитотоксичности (генотоксичности) наночастиц золота. Несмотря на различия условий *in vivo* и *in vitro*, физико-химические свойства частиц ХЖКД двухцепочечных ДНК отражают некоторые специфические особенности пространственной организации этих макромолекул в хромосомах простейших организмов (например, *Dinoflagellate*), ДНК некоторых вирусов, а также ДНК в составе головок спермиев высших животных.

В работе В.Виваниткита (Чулалонгкский университет, Таиланд) показано: добавление нано-Au размером ~9.0 нм к сперме здорового человека приводит к тому, что эти частицы проникают в го-

ловки и хвосты спермиев, вызывая потерю их подвижности. Почти в то же время С.Т.Захидов (биологический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова) начал интенсивные исследования цитотоксического действия наночастиц Au разного размера [12]. В 2010 г. он обнаружил, что в случае эпидидимальных спермиев мышей nano-Au (~2.5 нм) нарушают процесс деконденсации ядерного хроматина, являющегося одним из главных условий развития зигот и эмбрионов. Механизм столь необычного цитотоксического действия наночастиц золота связан, по-видимому, с их взаимодействием с молекулами конденсированной двухцепочечной ДНК хроматина. В 2013 г. Захидов показал [13]: от действия nano-Au (~2.5 нм) не защищен хроматин сперматозоидов быков. Итак, получен ряд принципиально новых данных, свидетельствующих о способности nano-Au нарушать функциональную целостность мужских половых клеток у млекопитающих, что, безусловно, потенциально опасно с точки зрения процессов оплодотворения и эмбрионального развития.

Все сказанное позволяет предполагать: взаимодействие nano-Au и двухцепочечных ДНК с последующим формированием кластеров из этих частиц между молекулами ДНК в составе конденсированных структур в биологических объектах (хромосомы, спермии), сопровождаемое наруше-

нием пространственной структуры последних, может служить причиной поражения наследственных структур, обусловленного действием nano-Au [10, 11].

Нано-Au, взаимодействуя с конденсированными формами ДНК, переходят из состояния хаоса в состояние высокой упорядоченности, т.е. понижают свою энтропию. Это подтверждает один из фундаментальных постулатов мутационной генетики: там, где наблюдается увеличение мутационного выхода под влиянием химических мутагенов или супермутагенов, одновременно происходит параллельное уменьшение энтропии химических раздражителей.

* * *

При выяснении многообразия возможных механизмов воздействия наночастиц на животных и, в частности, особенностей их действия на линейную и конденсированную формы двухцепочечной ДНК вместо золота могут использоваться другие благородные металлы или вещества другого происхождения. Необходимы дальнейшие исследования как в лабораторных условиях, так и на живых системах в рамках междисциплинарной программы по биобезопасности наночастиц. Результаты этих работ должны учитываться в биотехнологии и медицине. ■

Литература

1. Евдокимов Ю.М., Салаянов В.И., Скуридин С.Г. Наноструктуры и наноконструкции на основе ДНК. М., 2010.
2. *Yevdokimov Yu.M., Salyanov V.I., Semenov S.V. et al.* DNA liquid-crystalline dispersions and nanoconstructions. Boca Raton; L.; N.Y., 2011.
3. Скуридин С.Г., Дубинская В.А., Рудой В.М. и др. Действие наночастиц золота на упаковку молекул ДНК в модельных системах // Доклады академии наук. 2010. Т.432. №6. С.838—841.
4. *Yevdokimov Yu.M., Salyanov V.I., Skuridin S.G. et al.* The CD spectra of double-stranded DNA liquid-crystalline dispersions. N.Y., 2011.
5. Евдокимов Ю.М., Компанец О.Н. Структурная нанотехнология нуклеиновых кислот // Успехи физических наук. 2014. Т.184. №6. С.2—8.
6. *Yevdokimov Yu.M., Salyanov V.I., Skuridin S.G.* Nanostructures and Nanoconstructions based on DNA. Boca Raton; L.; N.Y., 2012.
7. Евдокимов Ю.М., Скуридин С.Г., Салаянов В.И. и др. Новый нанобиоматериал – частицы жидкокристаллических дисперсий ДНК со встроенными кластерами из наночастиц золота // Российские нанотехнологии. 2014. Т.9. №3—4. С.82—89.
8. *Yevdokimov Yu.M., Skuridin S.G., Salyanov V.I. et al.* Structural DNA nanotechnology: liquid-crystalline approach (E-Book): Published by Transworld Research Network, 2012.
9. Евдокимов Ю.М., Салаянов В.И., Штыкова Э.В. и др. Структурная нанотехнология нуклеиновых кислот: создание «жидких» и «твердых» наноконструкций ДНК // Вестник Российской академии наук. 2014. Т.84. №8. С.20—33.
10. *Yevdokimov Yu.M., Skuridin S.G., Salyanov V.I. et al.* The gold nanoparticles influence double-stranded DNA molecules «recognition» and prevent formation of their cholesteric structure // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2014. Т.14. №4. С.5—21.
11. Евдокимов Ю.М., Салаянов В.И., Скуридин С.Г. и др. Физико-химический и нанотехнологический подходы к созданию «твердых» пространственных структур ДНК // Успехи химии. 2015. Т.84. №1. С.27—42.
12. Захидов С.Т., Маршак Т.Л., Малолина Е.А. и др. Наночастицы золота нарушают процесс деконденсации ядерного хроматина в спермиях мышей в условиях *in vitro* // Биологические мембраны. 2010. Т.27. №4. С.349—353.
13. Захидов С.Т., Павлюченкова С.М., Самойлов А.В. и др. Хроматин сперматозоидов быков не защищен от действия ультрамалых наночастиц золота // Известия РАН. Серия биологическая. 2013. №6. С.645—652.

Еще раз о скольжении по вакууму

А.И.Волокитин

Проблема трения, которой наука занимается уже не одну сотню лет, до конца так и не решена. В последние 25 лет экспериментальные и теоретические исследования этого явления испытывают настоящий ренессанс благодаря быстрому прогрессу методов сканирующей зондовой микроскопии и вычислительной техники. На страницах «Природы» уже не раз шла речь о полученных в данной области результатах*. Самый интригующий из них — открытие того факта, что трение имеет место даже в отсутствие механического контакта между телами, разделенными вакуумным промежутком. Новые штрихи к портрету бесконтактного трения позволили добавить исследования вблизи критической температуры перехода образца в сверхпроводящее состояние.

Трение без контакта

Трение — одно из наиболее распространенных, но наименее понятых явлений природы. На макроуровне оно наблюдается вокруг нас повсеместно. Но

* См. статьи А.И.Волокитина в «Природе»: «Трение на наноуровне» (2009. №8. С.26—34), «Квантовое трение и графен» (2011. №9. С.13—21), «Взаимодействие наносистем на расстоянии» (2013. №10. С.13—19).



Александр Иванович Волокитин, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Самарского государственного технического университета. Область научных интересов — физика наноструктур, нанотрибология, сканирующая зондовая микроскопия.

естественно ожидать, что по-настоящему понять природу трения мы сможем, лишь исследуя его механизмы на малых масштабах и коротких расстояниях. И действительно, недавние успехи в области нанотехнологий позволили изучать трение на наноуровне [1], на котором была открыта новая форма трения — бесконтактное трение. Подробно об этом явлении рассказывалось в моих предыдущих статьях, поэтому здесь напомним лишь некоторые основные положения.

Бесконтактное трение возникает, когда тела разделены достаточно широким вакуумным промежутком, препятствующим физическому контакту между телами, но позволяющим взаимодействие между ними посредством дальнедействующего неоднородного электромагнитного поля, которое всегда присутствует по соседству с телами (его порождают тепловые и квантовые флуктуации плотности заряда и тока). Физический «двигатель» трения на расстоянии, таким образом, загадки из себя не представляет, но что именно приводит его в действие, какие конкретно механизмы? Ведь в создании вокруг тела электромагнитного поля, быстро спадающего по мере удаления от поверхности, могут участвовать различные «агенты» — движущиеся электроны, поляризующиеся атомы, фононы (колебания решетки). Какая из систем оказывается главной в создании трения?

С точки зрения теории бесконтактное трение определяется коэффициентами отражения фотонов от поверхностей обоих тел (при отражении происходит передача импульса, в чем, собственно, эффект трения и заключается). Процесс отражения происходит с участием различных механизмов, и окончательную точку в выборе преобладающего из них должен поставить эксперимент. Чтобы

отделить один вклад от другого, надо иметь возможность включать или выключать отдельные механизмы. Тут могли бы пригодиться фазовые переходы. Например, для проводников таким фазовым переходом может быть переход в сверхпроводящее состояние, а для диэлектриков — переход диэлектрик—металл. Экспериментально оказывается проще иметь дело с первым, поэтому пока сосредоточимся на проводниках. Но сначала сделаем несколько общих замечаний.

Бесконтактное трение исследуется с помощью атомно-силового микроскопа, зонд которого представляет собой чрезвычайно острый наконечник, закрепленный на упругой консоли (кантилевере). При сканировании поверхности кантилевер скользит над ней на небольшом расстоянии; прибор дает возможность зарегистрировать силу взаимодействия между поверхностью и зондом — как ее нормальную, так и латеральную составляющую. Различные механизмы трения, возникающего при движении кантилевера вдоль поверхности, схематически проиллюстрированы рисунком 1. Квантовые и тепловые флуктуации положений зарядов в одном из тел будут индуцировать поляризацию в другом теле. Взаимодействие между исходной и индуцированной поляризациями приводит к взаимодействию Ван-дер-Ваальса. Оно консервативно, т.е. не связано с необратимым рассеянием (диссипацией) энергии. Если тела находятся в относительном движении, то индуцированная поляризация отстает от первоначальной, и диссипация энергии происходит — действует *трение Ван-дер-Ваальса* (рис.1,*а*). Кроме того, фотоны, испускаемые движущимся телом, испытывают сдвиг частоты за счет эффекта Доплера, и, если отражение этих фотонов от поверхности другого тела зависит от частоты, это тоже может объяснить передачу импульса (т.е. наличие трения).

Поляризация поверхности может также происходить в случае движения заряженного наконечника; сопровождающее ее трение в таком случае называется *электростатическим трением* (рис.1,*б*). Наконец, оба вида исходно консервативных взаимодействий (вандерваальсово и электростатическое) могут провоцировать возбуждение фононов в образце посредством создания динамической деформации поверхности, что лежит в основе *фононного трения* (рис.1,*в*).

Электроны и фононы

Соотношение между электронным и фононным механизмами трения играет важную роль в понимании природы трения. Трение Ван-дер-Ваальса и электростатическое трение связаны с вынужденным движением зарядов в резистивной среде. Чтобы отделить эффект омических потерь от фононной диссипации энергии, можно изменять сопротивление одного из материалов. Самым элегантно-

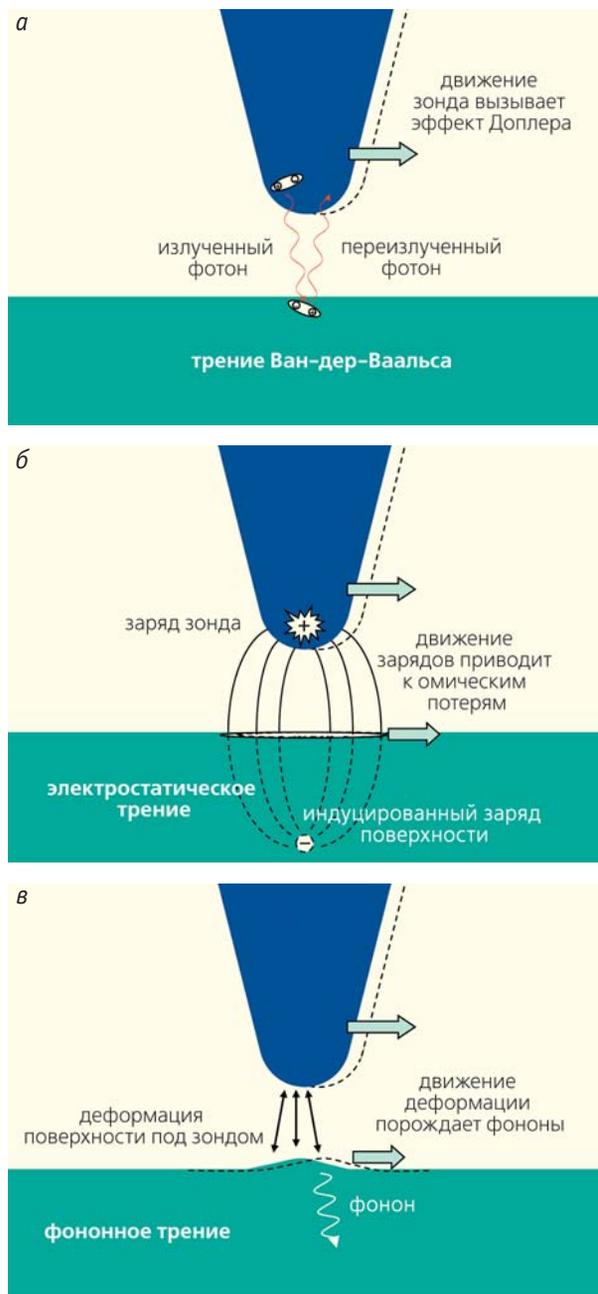


Рис.1. Различные механизмы трения при движении кантилевера параллельно поверхности. Консервативные силы Ван-дер-Ваальса (*а*) обусловлены обменом между телами фотонами (виртуальными и реальными). Этот процесс определяется квантовыми и тепловыми флуктуациями плотности зарядов и тока. В случае движущегося кантилевера доплеровский сдвиг частоты излучаемых фотонов и/или временное запаздывание взаимодействия приводит к трению. Заряженный наконечник (*б*) индуцирует на поверхности заряды противоположного знака, которые движутся вслед за наконечником и испытывают омические потери, что служит источником электростатического трения. Консервативные силы вызывают деформацию поверхности (*в*). Движущаяся деформация приводит к диссипации энергии за счет эмиссии фононов.

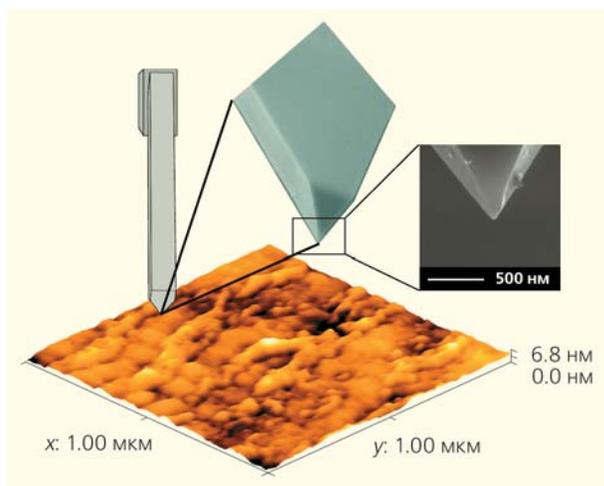


Рис.2. Изображение пленки ниобия, полученное с помощью атомно-силового микроскопа. Кантилевер ориентирован перпендикулярно поверхности (геометрия маятника), при этом его наконечник может совершать колебания параллельно поверхности пленки. Вставка показывает наконечник в различных масштабах.

ным способом это можно сделать, включая и выключая сопротивление материала путем изменения температуры вблизи критической точки перехода в сверхпроводящее состояние T_c . Эксперимент такого типа был впервые осуществлен в 1998 г. авторами работы [2]. С помощью техники микробалан-

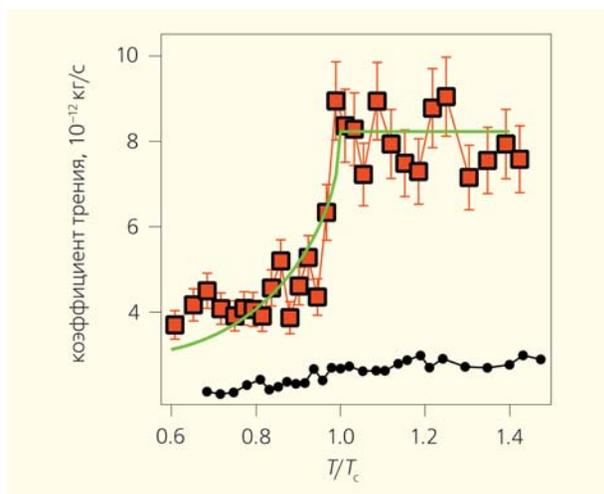


Рис.3. Температурное изменение коэффициента трения Γ при пересечении критической точки $T_c = 9.2$ К Nb. Красные квадраты соответствуют расстоянию между наконечником и образцом $d = 0.5$ нм. Полученные данные хорошо описываются аналитической кривой, которая следует из теории БКШ (зеленая линия). Черные точки соответствуют температурной зависимости коэффициента так называемого внутреннего трения Γ_0 , измеренной при расстоянии в несколько микрометров (свободный кантилевер), которая является характеристикой прибора.

са кварцевого кристалла тогда наблюдалось увеличение времени, за которое прекращалось свободное скольжение монослоя азота, адсорбированного на поверхности пленки ртути при переходе последней в сверхпроводящее состояние (это время обратно пропорционально величине коэффициента трения). Однако наблюдаемая температурная зависимость трения вблизи критической точки не соответствовала теоретическим предсказаниям.

Другой опыт такого типа был реализован недавно в работе [3] — измерялось непосредственно бесконтактное трение вблизи критической точки перехода образца в сверхпроводящее состояние. В эксперименте наконечник кантилевера совершал малые колебания параллельно поверхности кремния, покрытой пленкой ниобия толщиной 150 нм (рис.2). При этом на него действовала сила трения: $F = \Gamma v$, где Γ — коэффициент трения, а v — скорость движения наконечника (трение приводит к затуханию колебаний, которое может быть зарегистрировано). Измерения велись в интервале 7 К вблизи критической температуры ниобия $T_c = 9.2$ К. Кроме того, в нормальном и сверхпроводящем состояниях изучалась зависимость коэффициента трения от расстояния между наконечником и поверхностью и от разности потенциалов между ними. Для интерпретации полученных результатов использовались теория сверхпроводимости Бардина—Купера—Шриффера (БКШ) [4] и разработанная нами теория бесконтактного трения [5], с которой читатель «Природы» уже знаком.

Температурная зависимость коэффициента трения в условиях, когда при нагревании температура ниобия пересекала критическую точку $T_c = 9.2$ К, показана на рис.3.

Рисунок 3 подтверждает значительное уменьшение бесконтактного трения в сверхпроводящей фазе. При расстоянии $d = 0.5$ нм от поверхности Nb коэффициент трения Γ в нормальной фазе приблизительно в три раза больше, чем в сверхпроводящей. Можно дать следующую интерпретацию экспериментальных данных на основе теории сверхпроводимости. Колебания наконечника кантилевера вблизи пленки Nb создают на поверхности образца зависящее от времени механическое напряжение, которое генерирует поверхностные акустические волны с частотой колебаний наконечника ($\sim 10^4$ с⁻¹). Так как энергия, которая необходима для разрыва куперовской пары, объединяющей сверхпроводящие электроны ($\sim 10^{-4}$ эВ), значительно больше энергии акустического фона ($\sim 10^{-11}$ эВ), то акустические волны могут взаимодействовать только с электронами в нормальной фазе вблизи уровня Ферми. Когда температура образца приближается к критической температуре T_c снизу, затухание акустических волн быстро возрастает за счет увеличения числа «нормальных» электронов, что приводит к увеличению электронного трения.

Данные на рис.3 находятся в хорошем согласии с расчетом Γ на основе теории БКШ. Это служит первым указанием на то, что электронное трение должно играть важную роль не только в нормальном состоянии, но и в области на несколько градусов ниже критической температуры T_c . Здесь играет роль тот факт, что переход в сверхпроводящее состояние на самом деле не резкий. При температуре ниже критической доля электронов в нормальном состоянии меняется не скачком, а плавно. Проводимость (падение сопротивления до нуля) определяется наличием электронов в сверхпроводящем состоянии, а трение — долей электронов в нормальном состоянии. Поэтому в точке перехода проводимость меняется скачком, а трение плавно, в согласии с теорией БКШ.

Другое подтверждение следует из зависимости коэффициента трения от расстояния (рис.4). Эта экспериментальная кривая может быть аппроксимирована обратным степенным законом $\Gamma \sim 1/d^n$, где для нормального состояния Nb $n = 1.0 \pm 0.1$, а для сверхпроводящего — $n = 3.8 \pm 0.8$.

Аналогичная экспериментальная зависимость для бесконтактного трения между золотым наконечником и золотой подложкой также может быть описана степенным законом $\Gamma \sim 1/d^n$, где $n = 1.3 \pm 0.2$ [6]. Это неплохо согласуется с нашим выводом [5], что для трения, действующего на цилиндрический наконечник, при наличии на поверхности образца двумерной системы (двумерной электронной системы или слоя адсорбированных ионов) ожидается показатель $n = 1.5$. Для случая сферического наконечника мы предсказали показатель функции $n = 1.0$, что находится в очень хорошем согласии с экспериментальными данными работы [3] при $T = 13$ К, когда пленка ниобия находится в нормальном состоянии. Ситуация изменяется, когда образец находится в сверхпроводящем состоянии. Заметно более крутое убывание трения с расстоянием, наблюдаемое при $T = 5.8$ К, не удастся воспроизвести в рамках электронной модели. Это указывает на то, что электронное трение уже не является доминирующим механизмом трения при такой температуре. Остается предположить: основной вклад в данном случае дает возбуждение фононов в пленке Nb. Мы показали [5], что, когда сферический наконечник осциллирует горизонтально над упругой поверхностью, фононный коэффициент трения $\Gamma_{\text{фн}}$ должен меняться как d^{-4} , что прекрасно согласуется с экспериментальным значением показателя $n = 3.8 \pm 0.3$ [3].

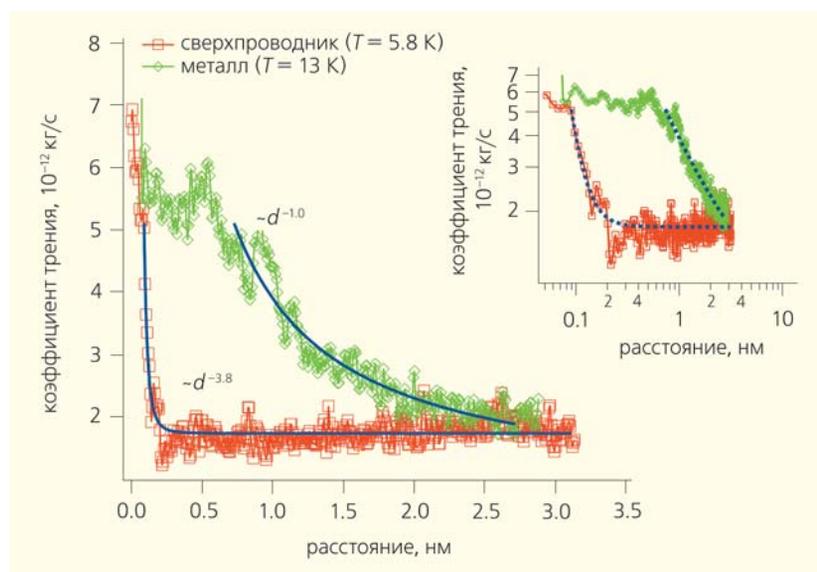


Рис.4. Зависимость коэффициента трения от расстояния между наконечником кантилевера и поверхностью образца для нормального и сверхпроводящего состояния пленки Nb. Вставка показывает те же самые данные в логарифмическом масштабе.

Усиление роли фононного трения (по сравнению с электронным) ниже критической температуры T_c подтверждается зависимостью коэффициента трения Γ от электрического напряжения между наконечником и образцом (рис.5). Согласно теории [5], фононный коэффициент трения

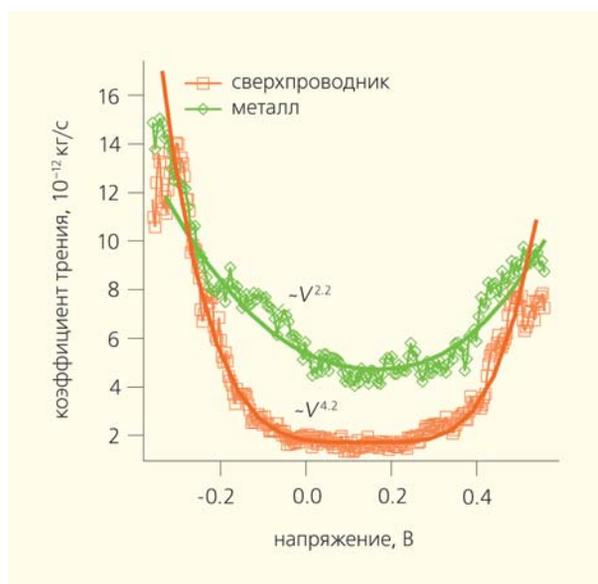


Рис.5. Зависимость коэффициента трения от электрического напряжения между наконечником кантилевера и пленкой Nb. Маятник осциллирует на расстоянии $d = 0.5$ нм от поверхности Nb. Эта зависимость описывается квадратичной зависимостью для Nb в нормальном состоянии, в то время как ниже температуры перехода эта зависимость пропорциональна четвертой степени V .

должен меняться как четвертая степень напряжения V . С другой стороны, электронный коэффициент трения за счет омических потерь электромагнитного поля внутри образца следует квадратичному закону [5]. Как раз это и наблюдалось в эксперименте в нормальном (зависимость с четвертой степенью) и сверхпроводящем (зависимость со второй степенью) состояниях [3].

Излучение при трении

До сих пор мы рассматривали трение для проводящей поверхности. И выбор модели со специальной геометрией — в виде системы плоскость—шар или плоскость—цилиндр — диктовался условиями эксперимента с участием атомно-силового микроскопа. Если же не быть связанными экспериментальной спецификой, то самый простой вариант, для которого можно анализировать трение, — это случай, когда разделенные вакуумным промежутком абсолютно гладкие пластины скользят друг относительно друга при $T = 0$ К. Трение в этом случае вызвано взаимным перемещением квантовых флуктуаций (если бы мы взяли ненулевую температуру, к ним бы добавились флуктуации тепловые) и называется квантовым трением (рис.6). После долгих дискуссий, о которых я упоминал в предыдущих статьях, теоретики пришли к консенсусу, признав существование квантового трения, однако экспериментально оно все еще достоверно не зарегистрировано (косвенным его подтверждением можно считать измерения вольт-амперных характеристик на поверхности диэлектрика, о чем также шла речь прежде). При относительном движении пластин квантовое трение связано с рождением в них пары возбуждений той

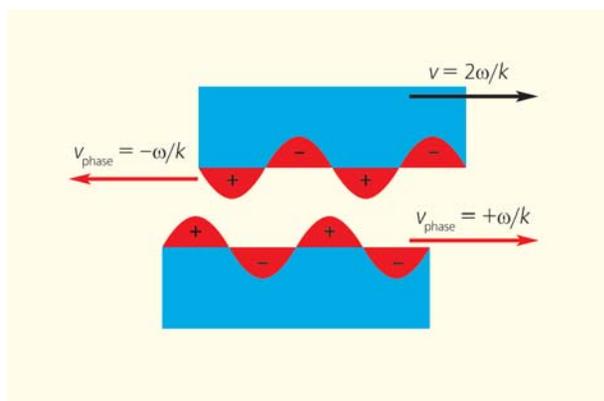


Рис.6. Относительное скольжение двух абсолютно гладких поверхностей, разделенных вакуумным промежутком. Две пластины скользят друг относительно друга со скоростью v . Поверхностные плазмоны взаимодействуют через щель и обмениваются энергией, когда скорость скольжения v согласуется с разностью фазовых скоростей поверхностных плазмонов (имеется в виду случай одинаковых поверхностей).

или иной природы (например, электронной системы или решетки), частоты которых связаны соотношением: $vk_x = \omega_1(k) + \omega_2(k)$, где k_x — проекция волнового вектора на направление скорости. Обратимся теперь к случаю диэлектриков, причем прозрачных, в которых свет не поглощается, — в них возбуждениями будут электромагнитные волны с частотой $\omega(k) = v_0 k$, где $v_0 = c/n$ — фазовая скорость световой волны в диэлектрике с показателем преломления n . Такое излучение возникает, когда скорость скольжения v превышает пороговую скорость, равную $2v_0$.

Существует очевидная аналогия между квантовым трением и квантовым излучением Вавилова—Черенкова. Хорошо известное классическое излучение Вавилова—Черенкова связано с излучением электромагнитных волн (света) при движении электрического заряда в среде со сверхсветовой скоростью, когда скорость заряда v превышает пороговую скорость, равную скорости света в этой среде v_0 . Но кроме классического излучения существует еще квантовое излучение Вавилова—Черенкова, которое было предсказано В.Л.Гинзбургом в 1940 г. [7]. Оно порождается движением в среде или вблизи поверхности нейтральной частицы, например атома; как и квантовое трение, оно обусловлено наличием у частицы флуктуирующего дипольного момента за счет квантовых флуктуаций. В определенном смысле квантовое излучение можно считать проявлением квантового трения, и оно тоже находится пока на уровне предсказаний. Если скорость относительного движения превышает пороговую, то частота излучения определяется выражением v/d , где d — ширина вакуумного промежутка, поэтому в зависимости от ширины и пороговой скорости частота может быть разной. Здесь снова оказываются полезными представления об эффекте Доплера. Роль возбуждений при квантовом излучении по-прежнему могут играть фотоны (в прозрачных диэлектриках), плазмоны и электронно-дырочные пары (в металлах), поляритоны (в полярных диэлектриках). Если в неподвижной среде возбуждение имеет частоту $\omega(k)$, то в системе отсчета, относительно которой среда движется со скоростью v , его частота сместится, став $\omega(k) - vk_x$. Случай $\omega(k) - vk_x > 0$ называется *нормальным* эффектом Доплера (он приводит к сдвигу частоты теплового излучения среды). Однако если среда движется относительно другой среды (аналогично пластинам на рис.6), то возможна ситуация, когда $\omega(k) - vk_x < 0$. Такой эффект называется *аномальным* эффектом Доплера. В отличие от нормального эффекта Доплера, здесь рождение возбуждения в движущейся среде не увеличивает, а уменьшает энергию этой среды. Поэтому при нормальном эффекте Доплера среда излучает фотоны, «сбрасывая» энергию возбуждений (т.е. переставая быть возбужденной), а при аномальном эффекте Доплера, наоборот, среда может испускать фотоны, переходя в возбужденное состояние по мере излуче-

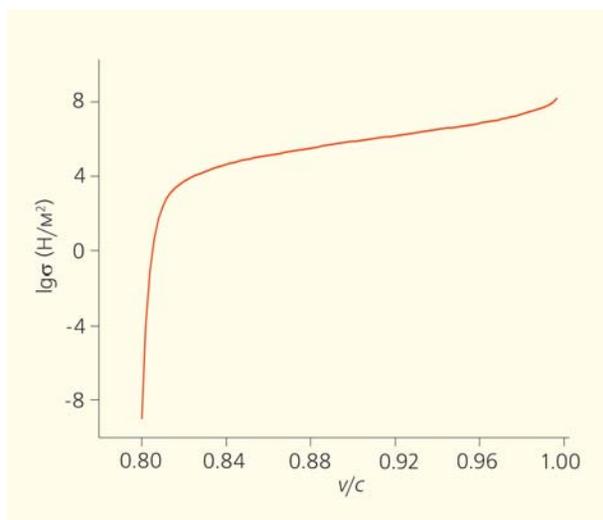


Рис.7. Сила трения в зависимости от скорости относительного скольжения двух прозрачных пластин. Показатель преломления пластин $n = 2.0$, ширина вакуумного промежутка между пластинами $d = 4$ нм.

ния (дополнительная энергия берется за счет кинетической энергии движения).

В случае двух прозрачных пластин, скользящих друг относительно друга, релятивистская теория аномального эффекта Доплера приводит к такому результату: квантовое излучение Вавилова—Черенкова (и квантовое трение) возможно только при условии, что скорость скольжения v превышает критическую скорость $v_c = 2nc/(n^2 + 1)$, где c — скорость света в вакууме [8]. Релятивистская теория квантового трения между двумя пластинами была нами разработана [9]. Рисунок 7 показывает расчет на основе этой теории зависимости силы квантового трения от скорости для показателя преломления $n = 2.0$, когда $v_c = 0.8c$. Излучение и сила трения круто возрастают вблизи пороговой скорости v_c . Важно отметить, что трение в этом случае возникает даже в отсутствие поглощения энергии и дисперсии (т.е. зависимости коэффициента отражения от частоты) в среде. Пороговая скорость может быть существенно понижена (до 10^5 м/с), если на поверхностях имеются шероховатости атомарных размеров [8]. Квантовое излучение Вавилова—Черенкова также возможно для пластин из диэлектриков с диссипативными потерями.

Как проверить?

Как было продемонстрировано выше, наша теория бесконтактного трения уже находит себе применение при интерпретации результатов, в частности, касающихся трения в сверхпроводящих системах. А какие эксперименты могли бы предоставить данные для проверки положений предыдущей главки?

Рисунок 8 показывает силу квантового трения при скольжении двух пластин из полярного диэлектрика SiO_2 . На поверхности SiO_2 имеются поверхностные фононные поляритоны, представляющие собой связанные колебания электромагнитного поля и атомов кристаллической решетки. В этом случае аналог квантового излучения Вавилова—Черенкова, порожденного возбуждением поверхностных поляритонов, возникает при условии $vk_x = 2\omega_0$, откуда $k_x = 2\omega_0/v$, где ω_0 — частота поверхностных поляритонов. За счет того, что взаимодействие между поверхностными поляритонами осуществляется посредством неоднородных волн, амплитуда которых экспоненциально убывает при удалении от поверхности, значение волнового вектора ограничено условием: $k < k_{max} \sim 1/d$. С учетом этого пороговое значение скорости для квантового трения и квантового излучения Вавилова—Черенкова будет иметь вид: $v > v_c \sim 2\omega_0/k_{max} \sim 2\omega_0 d$. Откуда, при $d = 1$ нм и $\omega_0 = 9 \cdot 10^{13}$ с⁻¹, получим $v_c \sim 2 \cdot 10^5$ м/с, что находится в согласии с результатами численных расчетов трения (рис.8).

Квантовое излучение и трение можно было бы наблюдать при движении нейтральной частицы параллельно поверхности или в отверстии, просверленном в среде. В принципе это те же эксперименты, которые используются для наблюдения классического излучения Вавилова—Черенкова. Однако флуктуирующий диполь взаимодействует со средой слабее, поэтому и интенсивность квантового излучения будет ниже.

Самый перспективный материал для экспериментального наблюдения квантового трения, безусловно, графен, изолированный монослой углерода, который научились получать совсем недавно [10]. Дело в том, что из-за чрезвычайно вы-

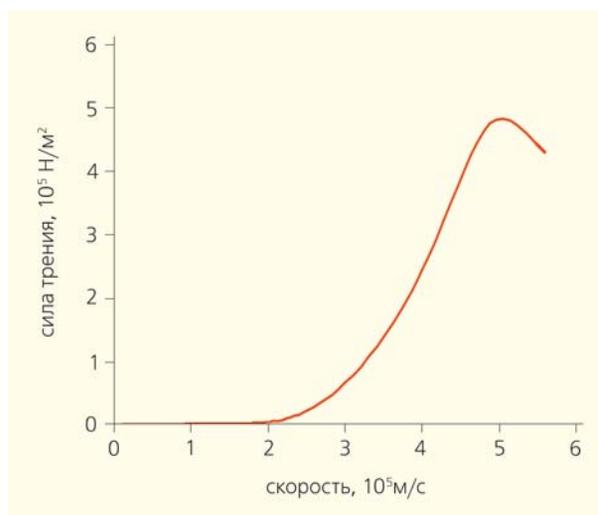


Рис.8. Сила трения при относительном скольжении двух пластин из полярного диэлектрика SiO_2 . Ширина вакуумного промежутка между пластинами $d = 1$ нм.

сокой мобильности электроны в графене в сильных электрических полях могут двигаться с очень большой скоростью дрейфа ($\sim 10^6$ м/с). При таких скоростях квантовое трение может давать доминирующий вклад в диссипацию энергии. Зарегистрировать его можно попытаться с помощью эффекта фрикционного увлечения между расположенными поблизости двумя графеновыми листами [11, 12]. Для наблюдения фрикционного увлечения электрический ток создается в одном из листов, а за счет силы трения, которая действует на электроны второго листа, в нем возникает электрическое напряжение, которое может быть измерено. Для графеновых листов аналогом квантового излучения Вавилова—Черенкова оказывается возбуждение в листах за счет трения электронно-дырочных пар. Условие для такого возбуждения имеет вид: $v k_x > 2v_F k$, где v_F — скорость Ферми. Тогда пороговая скорость для возникновения квантового трения и генерации электронно-дырочных пар $v_c = 2v_F \sim 2 \cdot 10^6$ м/с. Пока эффект фрикционного увлечения наблюдался только для слабых электрических полей, когда $v \ll v_c$ [13]. В этом случае трение определяется тепловыми флуктуациями, а квантовое трение очень мало. Представ-

ляет несомненный интерес постановка экспериментов по наблюдению эффекта фрикционного увлечения между графеновыми листами в сильных электрических полях, при которых $v > v_c$ и квантовое трение дает доминирующий вклад.

* * *

Бесконтактное трение может оказаться как вредным, так и полезным для многих создающихся в настоящее время микро- и нано- электромеханических систем, которым предвещают новые революционные применения в сенсорах и информационных технологиях. Оно исключительно важно для ультрачувствительной регистрации сил, поскольку, как установил еще Эйнштейн, трение и флуктуации связаны друг с другом. Именно квантовое трение определяет тот предел, до которого может быть уменьшена сила трения, а следовательно, и флуктуации. В будущем необходимо не только понять механизм сил бесконтактного трения, но и научиться ими управлять. Иными словами, нам понадобится «смазывать» вакуум. Квантовая механика на наших глазах стремительно становится квантовой инженерией! ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 14-02-00384а.

Литература

1. *Urbakh M., Meyer E.* Nanotribology: the renaissance of friction // *Nature Mater.* 2010. V.9. P.8—10.
2. *Dayo A., Amasrallah W., Krim J.* Superconductivity-dependent sliding friction // *Phys. Rev. Lett.* 1998. V.80. P.1690—1693.
3. *Kisiel M., Gnecco E., Gysin U. et al.* Suppression of electronic friction on Nb films in the superconducting state // *Nature Mater.* 2011. V.10. P.119—122.
4. *Шрифффер Дж.* Теория сверхпроводимости. М., 1976.
5. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* Near-field radiative heat transfer and noncontact friction // *Rev. Mod. Phys.* 2007. V.19. P.1291—1329.
6. *Stipe B.C., Mamin H.J., Stowe T.D. et al.* Noncontact friction and force fluctuations between closely spaced bodies // *Phys. Rev. Lett.* 2001. V.87. P.096801-1—096801-4.
7. *Гинзбург В.Л.* Излучение равномерно движущихся источников (эффект Вавилова—Черенкова, переходное излучение и некоторые другие явления) // *УФН.* 1996. Т.166. С.1033—1042.
8. *Pendry J.B.* Can sheared surfaces emit light? // *J. Mod. Opt.* 1998. V.42. P. 2389—2408.
9. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* Theory of the interaction forces and the radiative heat transfer between moving bodies // *Phys. Rev. B.* 2008. V.78. P.155437-1—155437-8.
10. *Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V. et al.* Electric field effect in atomically thin carbon films // *Science.* 2004. V.306. P.666—669.
11. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* Quantum friction // *Phys. Rev. Lett.* 2011. V.106. P.094502-1—094502-4.
12. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* Influence of electric current on the Casimir forces between graphene sheets // *EPL.* 2014. V.103. P.24002-p1—24002-p6.
13. *Gorbachev R.V., Geim A.K., Katsnelson M.I. et al.* Strong Coulomb drag and broken symmetry in double-layer graphene // *Nature Phys.* 2012. V.8. P.896—912.

Где они — лекарства из пептидов?

А.А.Каменский, И.Ю.Сергеев

В 1950—1970-х годах то и дело появлялись сенсационные сообщения об открытии все новых и новых коротких природных пептидов, обладающих самыми неожиданными воздействиями на организм*. Эти соединения, помимо довольно экзотических влияний, проявляли такие значимые для организма эффекты, как регуляция иммунитета, влияние на ощущение боли, стимуляция или, напротив, блокада обучения. Создание фармакологических агентов с подобными свойствами казалось вполне достижимым.

Однако имевшимся тогда в арсенале фармакологов методам не хватало чувствительности и приходилось искать иные экспериментальные подходы. Многие специалисты стали испытывать к новым «кандидатам в лекарства» естественное недоверие: эффекты слабы, плохо воспроизводимы. Но тех исследователей, перед которыми не стояли непосредственные практические задачи, пептидные регуляторы очень заинтересовали [1].

Считается, что активное изучение регуляторных пептидов было связано с открытием нейросекреции. По мнению историков науки, нейроэндокринологический период начался

* См.: *Левицкая И.Г., Каменский А.А.* Регуляторные пептиды // *Природа*. 2003. №10. С.10—15.



Андрей Александрович Каменский, доктор биологических наук, заведующий кафедрой физиологии человека и животных биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается изучением нейротропных эффектов регуляторных пептидов.



Иван Юрьевич Сергеев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же кафедры. Научные интересы связаны с фармакологией сердечно-сосудистой системы.

в 1955 г., когда были получены первые доказательства секреции гипоталамусом пептидных гормонов, или нейрогормонов. В начале 70-х годов уже выделили и определили первичную структуру нескольких из них — тиролиберина, лолиберина, соматостатина, нейротензина, субстанции Р. В 1977 г. за открытие гипоталамических гормонов Эндрю Шалли (Andrew V.Schally), Роже Гиймен (Roger Guillemin) и Розалин Ялоу (Rosalin S.Yalow) удостоились Нобелевской премии по физиологии или медицине**.

В 1991 г. было известно уже больше 300 регуляторных пептидов, в их числе и коннекторы (connector — соединитель). Они участвуют в формировании определенных условных рефлексов и довольно сложных навыков. Наиболее изученные коннекторы (амелитин, скотофобин, хромодиопсины и катабатмофобин) выделены из моз-

** См.: Лауреаты Нобелевской премии 1977 г. // *Природа*. 1978. №1. С.128—131.

га животных, обученных каким-либо навыкам. Так, хромодиопсины вызывают у животных предпочтение или, напротив, неприязнь к тому или иному цвету, а катабатмофобины — страх к определенным изменениям окружающего давления. Механизм действия этой интереснейшей группы соединений пока неясен. После введения скотофобина животному он преимущественно локализуется в коре. Высказывались предположения, что действие этих пептидов основано на специфическом связывании с определенными небольшими группами синапсов, что надолго повышает их проводимость.

Определение аминокислотной последовательности, а затем и синтез этих пептидов позволили исследовать не только их биохимические и физиологические свойства, но и механизм действия. Тогда же было окончательно доказано существование биологически активных пептидов мозга, обладающих некоторыми особыми свойствами. Оказалось, что в его тканях таких регуляторов гораздо меньше, чем других известных в то время биоактивных веществ, но зато они обладают очень высокой активностью.

Для фармакологии особенно важными стали открытия опиатных рецепторов и группы биологически активных пептидов у низших позвоночных. Эти находки положили начало двум крупным направлениям: изучению большой группы опиоидных пептидов и сравнительным исследованиям нейропептидов и их эволюции.

Что есть что

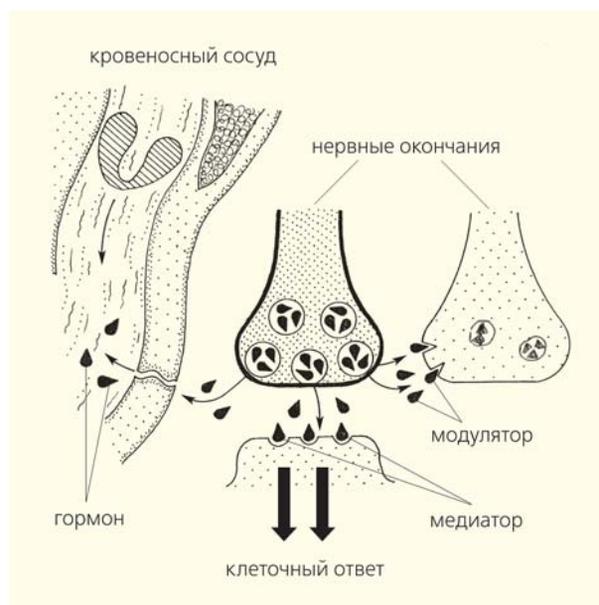
Принято считать, что первыми «истинными» нейропептидами были энкефалины. Их открытие связано с поисками природных лигандов к обнаруженным в мозге опиатным рецепторам: из мозга свиньи выделили смесь двух пентапептидов, отличавшихся лишь одной С-концевой аминокислотой. К началу 80-х годов определили первичную структуру более мощного эндогенного опиата — β-эндорфина. Именно тогда стало понятно, что название «нейропептиды» нельзя считать точным для многих пептидных регуляторов. Ведь их все чаще находили не в нервных тканях, а в клетках крови (тафцин, опиаты), мышцах (карнозин, кардиопептиды), плаценте (опиаты), выстилке желудочно-кишечного тракта (опиаты, гипоталамические факторы) и др. Название «нейропептиды» стали использовать только для пептидов, находящихся в нервной ткани, а более широким и обобщающим оказался термин «регуляторные пептиды». Но однозначно решить, нужно ли называть тот или иной биоактивный пептид нейропептидом, часто бывает затруднительно.

Возникает и другой вопрос: можно ли отнести к регуляторным пептидам давно известные пептидные гормоны?

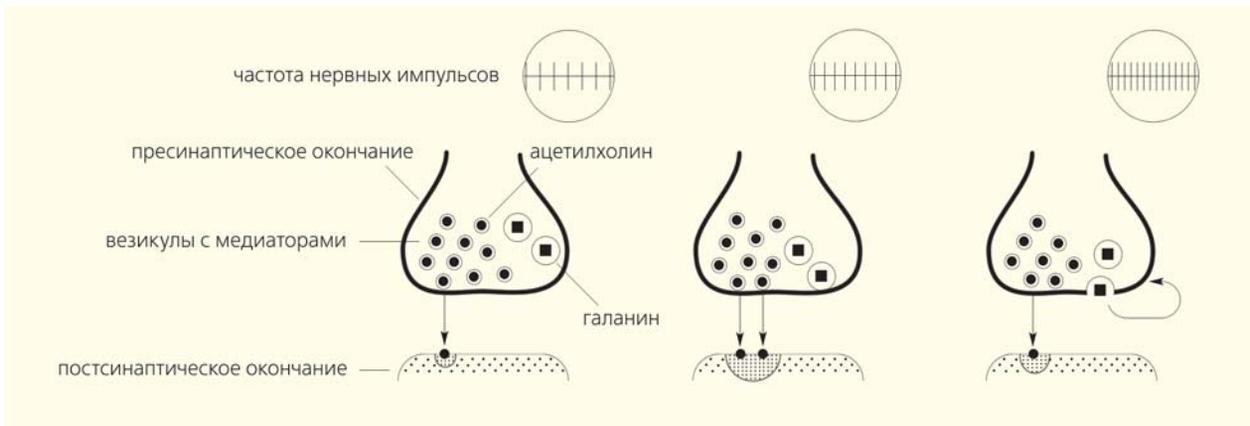
В этом тоже нет четкости. Например, тиролиберин (или тиреотропин-рилизинг-гормон; Thyrotropin-Releasing Hormone — TRH) — это типичный гипоталамический гормон, который усиливает секрецию тиреотропного гормона аденогипофиза и обладает множеством других эффектов: активизирует эмоциональное поведение людей и животных, управляет вегетативными функциями (дыханием, сердечной деятельностью). Сейчас тиролиберин считается сильным эндогенным психостимулятором. Так что этот нейропептид (как и многие другие) одновременно участвует и в работе классической гормональной системы.

Регуляторные пептиды могут играть несколько физиологических ролей: быть медиатором, модулятором и гормоном. Например, субстанция Р — медиатор в первичных болевых путях, а опиоидные пептиды — и медиаторы, и модуляторы, т.е. в межклеточном пространстве способны регулировать активность целых групп клеток, так как разрушаются пептидные молекулы относительно медленно. Нейропептиды в одних и тех же синаптических окончаниях могут соседствовать и взаимодействовать с другими пептидами и с классическими медиаторами.

И все-таки разделение на гормоны и регуляторные пептиды возможно. Первые синтезируются и секретируются в кровь из определенных клеток эндокринных желез, а вторые могут вырабатываться в тканях, которые никак нельзя отнести к эндокринным железам. Кроме того, имеются и другие отличия регуляторных пептидов от классических гормонов. Каковы же эти особенности?



Разные ипостаси регуляторных пептидов. Они могут служить медиаторами, гормонами и модуляторами, регулируя выброс медиаторов из соседних нервных окончаний.



Выброс ацетилхолина и галанина из одного пресинаптического окончания при разных частотах стимуляции.

Классические гормоны, выделяясь из секретирующих клеток, с током крови достигают клеточных мишеней, имеющих специфические рецепторы — для каждого гормона свои, благодаря чему они и проявляют эффект. У регуляторных пептидов существуют разные рецепторы, даже у одного и того же их бывает несколько. Так, для нейропептида галанина* известны три типа рецепторов, распределение которых связано с его локализацией. За три десятилетия, прошедших со времени идентификации галанина, установлено, что он сосуществует с классическими нейромедиаторами: в базальных ганглиях — с ацетилхолином, в гипоталамусе — с гамма-аминомасляной кислотой (ГАМК), в нейронах аркуатного ядра — с дофамином. Выявлено модулирующее влияние этого пептида на высвобождение катехоламинов и ацетилхолина в периферической нервной системе и в центральной [2].

Но даже если клетка вырабатывает и секретирует всего один пептид, то и в этом случае эффекты его выброса могут поражать своим многообразием. Такое явление обычно называют полимодальностью регуляторных пептидов. Не вдаваясь в подробности, приведем в качестве примера краткий список систем организма (нервная, кровеносная, дыхательная, пищеварительная, иммунная, выделительная), на которые действует β -эндорфин, самый сильный из эндогенных опиатов в нашем организме. Это определяется разнообразием рецепторов к опиатным пептидам. К ним относятся три основных типа: μ , δ , κ , каждый из которых включает несколько подвидов, отличающихся сродством к тем или иным лигандам и локализацией в организме. Однако антагонист у всех этих рецепторов один — налуксон. Если они расположены в пределах центральной нервной системы, их активация

приводит к обезболиванию, подобно действию, например, энкефалинов, эндорфинов и динорфинов. Не так давно в мозге человека, крысы и мыши с помощью методов молекулярного клонирования обнаружен еще один тип опиатных рецепторов — человеческий рецептор-1, подобный опиатному (hORL1 — human Opioid Receptor-Like). Его эндогенный агонист — ноцицептин — провоцирует в организме боль. Другое важное отличие этого типа опиатных рецепторов — относительно низкое сродство к налуксону.

Регуляторные каскады

Система регуляторных пептидов образует так называемый функциональный континуум. Это означает, что, с одной стороны, любой пептид обладает уникальными свойствами, комплексом активностей. С другой стороны, многие проявления биологической активности каждого из них совпадают или близки к таковым других пептидов. В результате участник континуума выступает как созданный эволюцией «пакет программ» для включения или модуляции определенного комплекса функций. Их набор настолько велик, что обеспечивает относительно плавный, непрерывный переход от одного комплекса совместимых функций к другому. Представление о функциональном континууме пептидных регуляторов позволяет понять биологический смысл их необычайного многообразия. Указанное ранее число уже открытых пептидных регуляторов значительно меньше их действительного количества, если учесть, что каждый год приносит открытие не только пептидов из уже известных семейств, но и из новых. Благодаря пептидному континууму образуются сложные регуляторные цепи, каскады.

Нейропептид, выход которого индуцирован другим пептидом, в свою очередь может способствовать секреции следующих пептидов, так возникает регуляторный каскад. (Частный случай этой системы взаимной индукции — влияние либери-

* Название этого нейропептида, открытого в 1983 г. В.Муттгом и его коллегами из Каролинского университета (Стокгольм), происходит от N-концевой аминокислоты глицина и C-концевой аминокислоты аланина.

нов и статинов гипоталамуса на выход гормонов гипофиза*) Сейчас трудно судить, сколь длинной может быть такая цепь. Известно, однако, что многие нейропептиды, период полураспада которых измеряется минутами, могут вызывать многочасовые и даже многосуточные эффекты после введения в организм. Вероятно, в основе этого явления лежат цепные процессы. Биологический смысл существования длительных регуляторных процессов, складывающихся из кратковременных звеньев, очевиден. В отличие от систем, основанных на долгоживущих регуляторах, такая система обладает большей гибкостью в меняющейся ситуации, при поступлении новых сигналов и т.п.

В сложной системе индуцирующего действия одних нейропептидов на выход других необходимо отметить элементы иерархии, взаимоподчинения. Например, вазоактивный интестинальный (от лат *intestinum* — кишка, кишечник) полипептид (нейропептидный гормон из семейства секретина) и холецистокинин-8, имеющиеся в значительных количествах в коре головного мозга, способны индуцировать или тормозить синтез ряда либеринов и статинов гипоталамуса. Он в свою очередь регулирует активность гормонов гипофиза, которые тоже могут служить индукторами, но уже периферических гормонов (вырабатываемых щитовидной железой, надпочечниками и др.). Такая иерархия, контроль и управление «сверху вниз» сочетается со сложной системой прямых действий нейропептидов на многие функции организма.

Основные признаки

Древность. Первые пептидные регуляторы появились еще у прокариот, и сейчас у человека есть отдельные клетки (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты), которые выделяют ряд пептидных факторов, несущих информацию другим клеткам. Регуляторные пептиды обнаружены у представителей всех групп эукариот, в том числе и у простейших, а у млекопитающих их насчитывают около 1.5 тыс., объединенных в 60—65 семейств.

Низкое содержание. Регуляторные пептиды связываются со своими рецепторами в более низких концентрациях (10^{-10} — 10^{-8} М), чем классические низкомолекулярные медиаторы, например, для ацетилхолина это 10^{-7} — 10^{-4} . Таким образом, для проявления физиологического эффекта достаточно, чтобы до рецепторов клетки дошло малое число молекул пептида.

Относительно медленный распад в тканях. Период полураспада регуляторных пептидов составляет от десятков секунд до десятка минут. Однако срок жизни природных пептидов, содер-

жащих несколько остатков пролина, еще больше. Например, β -казоморфин-7 с тремя остатками пролина настолько устойчив, что при определенных условиях может всасываться в тонком кишечнике целиком.

Сегодня имеется много защитных приемов от распада вводимых в организм пептидов, в том числе способ обогащения пролином**. Так в Институте молекулярной генетики и на кафедре физиологии МГУ было создано пептидное ноотропное средство — семакс***. В настоящее время такая «пролиновая защита» применяется школой Н.Ф.Мясоедова для получения пептидных средств пролонгированного и усиленного действия. Устойчивы к действию протеаз и многие пептиды прокариот, имеющие в составе правовращающие аминокислоты, «не узнаваемые» ферментами. Удивительно, но пептид дерморфин, содержащий остаток D-аланина и обладающий очень высокой обезболивающей активностью, был выделен из кожи тропических лягушек. Каким же образом D-аланин оказывается в структуре регуляторного белкового фактора амфибии? Ясно, что такое «производство» дорого обходится и требует участия особых ферментативных систем. Однако комфорт и безопасность, которые представляет своим обладателям дерморфин — явно окупают все затраты...

Вообще говоря, кожа тропических амфибий содержит целый набор ядовитых белковых факторов, в том числе и психотропных. Видимо, хищники стараются не прикасаться к этим довольно ярко окрашенным и совершенно безобидным на вид животным, поскольку попадание дерморфина в организм в лучшем случае дезорганизует поведение на несколько часов. А вот сами лягушки совершенно не страдают.

Пептиды из белков-предшественников

Когда были обнаружены многие ранее неизвестные воздействия гормональных факторов на поведение, сформировались представления о роли гормонов как предшественников биологически активных пептидов с особыми функциями [3]. Но оказалось, что это не так. На самом деле молекулы регуляторных пептидов образуются за счет ограниченного протеолиза специализированных белков-предшественников (например, для АКТГ, МСГ, опиоидов, обестатина) или ряда других белков. Так, несколько молекул иммуностимулятора тафцина «вырезается» из разрушающихся белковых цепей иммуноглобулинов. Иногда при распаде более крупных биологически активных молекул возникают мелкие регуляторные фрагменты (скажем,

** См.: Каменский А.А., Дубынин В.А., Беляева Ю.К. Экзорфины — хорошо или плохо? // Природа. 2006. №5. С.23—29.

*** См.: Левецкая И.Г., Каменский А.А. Регуляторные пептиды // Природа. 2003. №10. С.10—15.

* Каменский А.А., Титов С.А. Гормоны гипофиза — регуляторы памяти // Природа. 1983. №9. С.64—72.

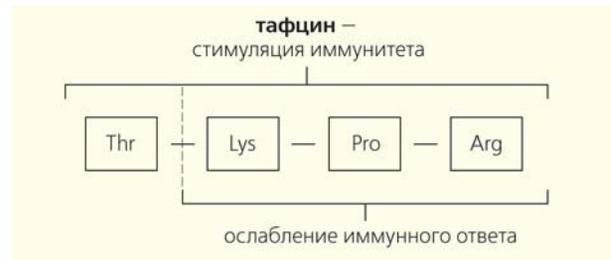
холецистокинин-4 — из гастрина или холецистокинина-33). Так, фрагменты субстанции P и тафцина обладают небольшими противоположными физиологическими эффектами по сравнению с молекулой предшественника. Это чрезвычайно важное свойство пептидной регуляции позволяет избежать слишком сильного физиологического ответа организма на секрецию какого-либо пептида: образующиеся при деградации регулятора метаболиты смягчат его избыточное влияние. Вместе с тем, это мешает изучать свойства самого пептида и снижает силу его воздействия. Кроме того, становится понятной опасность даже минимального загрязнения исследуемого препарата продуктами деградации, ведь они могут конкурировать за рецепторы молекулы предшественника.

Как правило, в молекуле белка-предшественника содержится несколько «дочерних» пептидов, иногда сходных, иногда сильно различающихся по структуре, а значит, и функциям. В состав предшественника входит сигнальная последовательность, необходимая для передвижения этой молекулы внутри клетки, а затем отщепляемая. Многие предшественники образуют промежуточное соединение с гликозидами. Они тоже оказывают стабилизирующее действие на некоторых стадиях расщепления и влияют на выбор протеолитическими ферментами мест атаки. В течение нескольких десятков минут после окончания синтеза этих протеиназ в комплексе Гольджи они вырезают необходимые фрагменты из предшественника. В значительной мере точность этого действия обусловлена наличием в структуре предшественников парных остатков Арг-Арг, Лиз-Лиз, Арг-Лиз, Лиз-Лиз. Именно их в первую очередь. Образовавшиеся при этом фрагменты часто представляют собой активные регуляторные пептиды, которые нередко при дальнейшем распаде дают новые активные молекулы.

Каждая клетка имеет свой набор протеиназ (он отличается, например, даже в разных окончаниях одного нейрона). Благодаря этому обеспечивается та или иная специализация продуктов распада (единичных или их комплексов). Так, из одного и того же предшественника — проопиомеланокортина (ПОМК) в клетках переднего гипофиза и его средней доли в результате ограниченного протеолиза вырабатываются значительно отличающиеся друг от друга наборы гормональных и регуляторных пептидов.

В чем же смысл такого «нерибосомного» получения регуляторных молекул? Одновременный выброс в кровь разных пептидов (производных ПОМК) позволяет организму мгновенно реагировать на важные внешние раздражители и мобилизует все системы.

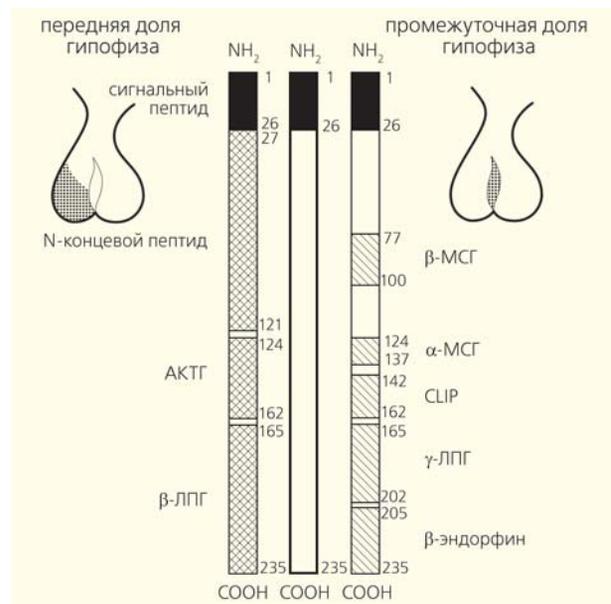
Фрагменты ПОМК, «нарезаемые» и секретируемые при стрессовых воздействиях, активируют кору надпочечников (АКТГ), усиливают секрецию дофамина, улучшают внимание и память, снижают температуру тела, стимулируют неспецифиче-



Образование регуляторного пептида с противоположной физиологической активностью при частичном гидролизе.

ский иммунитет, половое поведение и двигательную активность, регулируют цикл сон-бодрствование, мобилизуют жиры (β -ЛПГ), вызывают обезболивание (β -эндорфин). Кроме проопиомеланокортина обнаружены и многие другие молекулы-предшественники.

Из сказанного становится понятно важнейшее значение того или иного набора активных протеолитических ферментов в клетке: именно они определяют, какие пептиды будут образовываться и секретироваться во внеклеточную среду. Их набор, действующий в каждый момент в организме, обеспечивает быструю интегративную реакцию многих систем на ситуацию, в которой оказался человек или животное: бегство, агрессия, сон, пищевое поведение и т.п. Кроме того, деградация «работающих» в данный момент пептидов и образование их функциональных антагонистов предохраняют организм от нежелательной, чрезмерно сильной реакции. В конце прошлого века замечательный отечественный нейрохимик и физиолог И.П.Ашмарин, руководивший государственной программой



Образование разных регуляторных пептидов из проопиомеланокортина в передней и промежуточной долях гипофиза.

ствие и делает его кратковременным. Наличие в организме континуума регуляторных пептидов позволяет обеспечить полимодальные эффекты этой системы. Но ее лабильность приводит к зависимости от исходного состояния организма, побочным влияниям и затрудняет предсказание конечного результата.

Пептидные лекарства: пока их мало

И все-таки пептидные лекарства постоянно появляются и внедряются в практику. Речь прежде всего идет о гормональных препаратах, причем создаются новые средства на основе уже известных, например, гипоталамических либеринов и статинов и их аналогов. Кроме того, разрабатываются оригинальные лекарственные формы таких пептидных гормонов, как инсулин, соматотропин, окситоцин, вазопрессин. Цель этого — увеличить доступность гормонов, что позволяет понизить и частоту введения лекарств, и необходимую дозу. Помимо пептидных гормонов в практику вошло большое число фармакологических агентов, источником которых служат не пептиды-гормоны (или фрагменты), а их аналоги, не взаимодействующие с рецепторами к гормонам. В качестве примеров можно назвать ноотропное и адаптогенное средство селанк, полученное в Институте молекулярной генетики РАН, и модуляторы иммунитета цитомедины (тималин, тимоген, эпителиамин), созданные в Санкт-Петербургском институте биорегуляции и геронтологии РАН. Очень интересное направление предложено в Институте фармакологии министерства здравоохранения Т.А.Гудашевой. Там разработаны, синтезированы, испытаны и частично внедрены так называемые пептидомиметики.

Давно известно, что гормон вазопрессин, вырабатываемый в нейронах гипоталамуса и накапливающийся затем в нейрогипофизе, не только регулирует обратное всасывание воды в почках, но и положительно влияет на процессы долговременной памяти. Позднее было установлено, что стимулировать обучение может и фрагмент

аргинил-вазопрессина — АВП (6-9), который совершенно не обладает какой-либо гормональной активностью. А в совместной работе нашей кафедры с химиками из Института биоорганической химии НАН Беларуси выяснилось, что на поведение животных лучше всего влиял не природный фрагмент АВП (6-9), а его синтетический аналог (Ac-D-Met-Pro-Arg-Gly-NH₂).

По данным Воскресенской, этот высоко стабильный пептид при интраназальном введении в диапазоне доз 0.001–10.0 мкг/кг стимулирует выработку навыка у крыс, особенно при отрицательном подкреплении [5]. Важно, что пептид этот эффективен при введении и до обучения, и сразу после него. Кроме того, он практически не действует на физическую выносливость и болевую чувствительность крыс, но оказывает некоторое антидепрессантное действие. Об этом можно судить по увеличению длительности активных плавания и снижению длительности периодов иммобилизации в тесте принудительного плавания. К настоящему времени завершается большая часть доклинических испытаний этого тетрапептида, который вполне может стать основой для создания нового эффективного в очень малых дозах ноотропного лекарства [5].

Таким образом, малое количество экстрагормональных пептидных лекарств, возможно, связано с общей тенденцией к уменьшению числа выводимых на рынок препаратов. Ведь создание и внедрение в практику любого нового лекарства — процесс очень затратный, длительный и под силу весьма немногим фирмам. В 90-х годах прошлого века на рынке появилось около 50 лекарств, а в начале нынешнего — только 25–30. Еще одна причина малого числа «пептидных лекарств» — необоснованные надежды, порожденные сенсационностью. От таких препаратов ждали слишком много и рассчитывали получить их слишком быстро. Не избежали подобной участи и лекарства на основе регуляторных пептидов. Однако очевидно, что по мере решения трудностей, возникающих при работе с этими «нежными» веществами, мы будем получать все больше эффективных, надежных лекарств от самых различных болезней. ■

Литература

1. Ашмарин И.П. Перспективы практического применения и некоторых фундаментальных исследований малых регуляторных пептидов // *Вопр. медицинской химии*. 1984. Т.30. Вып.3. С.2–7.
2. Horvath T.L. Galanin neurons exhibit estrogen receptor immunoreactivity in the female rat mediobasal hypothalamus // *Brain Res*. 1995. V.675. P.321.
3. Ашмарин И.П., Обухова М.Ф. Регуляторные пептиды. Функционально-непрерывная совокупность // *Биохимия*. 1986. Т.51. №4. С.531–536.
4. Ким П.А., Воскресенская О.Г., Каменский А.А. Отставленные ноотропные П эффекты аргинин-вазопрессина при его раннем постнатальном хроническом введении детенышам белых крыс // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2009. Т.147. №6. С.621–625.
5. Белякова А.С., Воскресенская О.Г., Каменский А.А., Голубович В.П. Влияние оригинального структурного аналога АВП (6-9) — Ac-D-SPRG на ориентировочно-исследовательское поведение и уровень тревожности белых крыс // *Вестник Моск. ун-та*. 2012. Сер.16: Биология. №1. С.3–7.

Цунами в Одессе: природный или рукотворный феномен?

А.А.Никонов, Л.Д.Флейфель

В конце июня 2014 г. российская радиостанция «Бизнес FM» в новостях сообщила: «Трехметровая волна накрыла один из пляжей в одесском поселке Совиньон и смыла в море 15 отдыхающих. Об этом говорит телеканал ТСН со ссылкой на областное управление ГСЧС. По данным ведомства, в результате стихии пострадали шесть человек: взрослые получили переломы конечностей, а дети — легкие травмы. По словам очевидцев, после этого волна не отступила, а двинулась в сторону г.Ильичевска, расположенного в 16 км от Одессы. Спасатели не исключают, что волна может докатиться до Затоки».

Позднее множество откликов появилось и в Интернете, в том числе были выложены записи камер наружного наблюдения на пляжах*. Они, дополненные фотографиями одесситов, послужили нам основой для подробного рассмотрения процесса: его проявления на пляжах Одессы и ее южного пригорода Ильичевска. Естественно, в Интернете сразу же появились толкования необычного происшествия и комментарии. Рефрен звучал так: «Ученые затрудняются объяснить».

Цунами на берегах Черного моря — явление не случайное, в течение столетий неоднократно возникавшее и наблюдавшееся



Андрей Алексеевич Никонов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН. Область научных интересов — оценка природных опасностей, сейсмотектоника, палеосейсмичность. Постоянный автор «Природы».



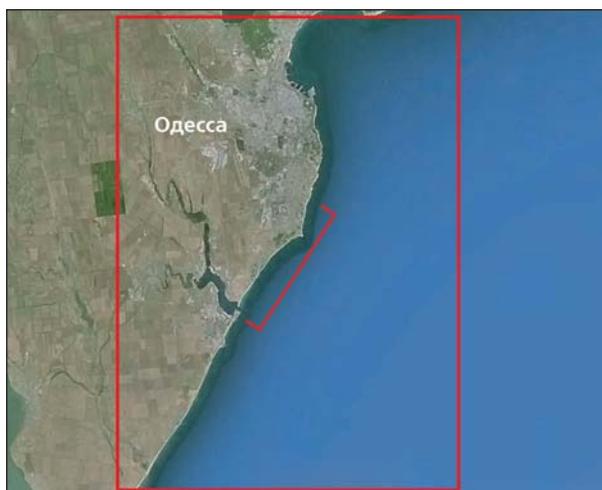
Лейла Джабаровна Флейфель, старший научный сотрудник лаборатории палеосейсмологии и палеогеодинамики того же института. Круг научных интересов охватывает современные движения земной коры, исторические землетрясения.

ся тем или иным способом. Отмечалось оно и на северных берегах Черного моря, и даже в Азовском [1—4]. Возникло цунами всегда неожиданно для жителей побережья (хотя чаще всего следовало за крупным землетрясением). На украинских берегах Черного моря подобного давно уже не происходило. И конечно, местные жители всполошились. Да и для исследователей случай представляет специальный интерес. Предварительные сведения обсуждались в 2014 г. в Одесском университете, в Институте физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН и в Институте океанологии им.П.П.Ширшова РАН в Москве.

Информация из сети Интернет

Из выложенных в сетях сведений мы отобрали те, которые можно считать отражающими реальность без преувеличений и оценок по первому впечатлению. К этой группе относится следующее.

* Tsunami Odessa — youtube.com



Снимок черноморского побережья вблизи Одессы. Прямоугольник ограничивает рассматриваемый район. Скобка фиксирует участок берега с поступившими сведениями о цунами 27 июня 2014 г.

День был тихий, солнечный. Люди отдыхали на пляже близ воды и подальше от нее. Слабый накат воды («отголоски волны») заметили на берегу «от 11-й станции Фонтана в Одессе до Санжейки». Большое количество сведений поступило с центрального пляжа Черноморки и из Ильичевска. Показательно полное отсутствие каких-либо сообщений из района Международного морского порта, всего в 13 км к северу от Черноморки. Иначе как отсутствием там водных возмущений этот факт объяснить невозможно.

Другая группа сообщений включала впечатления и суждения, более или менее правдоподобные.

Перед набеганием волны на берег слышался приглушенный шум. Волна высотой 2–3 м (правда, неясно, как эта высота оценивалась — по гребню у кромки берега или по заплеску у каменной набережной) пришла внезапно. Частично разрушилась каменная лестница из крупных плит в тылу пляжа. Волна быстро откатилась и смыла людей вместе с вещами, зонтами, обувью. Двух человек выбросило на берег, семеро (в том числе четверо детей) получили ранения — переломы и ссадины.

Сообщения очевидцев

Наиболее значимые из них получены с пляжей в Совиньоне и Черноморке.

«Отошла вода от берега, и в момент поднялась на 2,5–3 м. Накрыло весь пляж, были пострадавшие, в основном дети. Масса разбросанных вещей по пляжу, многие уплыли вместе с волной, валяются поломанные шезлонги».

«Все затопило... Волна 2,5–3 м. Меня смыло вместе с креслом».

«Порвало водопроводные трубы».

«Волной протащило по пляжу и ударило о забор».

«Вдруг набежала огромная волна и залила пляж. Мы лежали далеко от воды, и у нас просто намочило подстилку, а людей реально смывало в воду вместе с вещами, зонтиками и обувью».

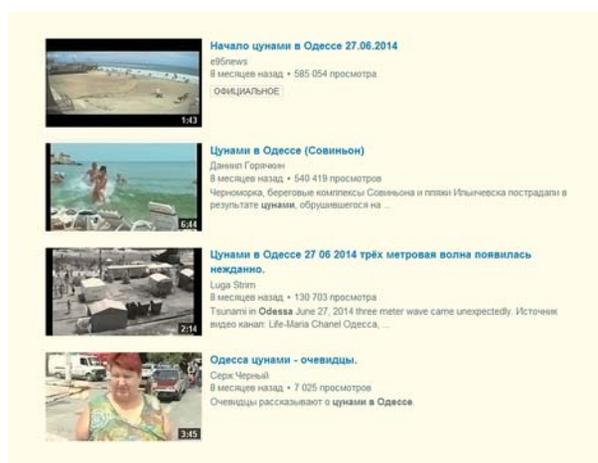
«На самом деле волна была не одна, а две. Первая — очень сильная — бросила людей на стену, на камни, потом она схлынула, отдыхающие стали собирать вещи, а тут пришла вторая волна, уже значительно слабее, но именно ее все испугались».

В Черноморке ведущая с пляжа на набережную лестница, по-видимому, располагалась в зоне досягаемости волн при штормах. Косвенно на это может указывать типичная ниша подмыва (хорошо различимая на фотографии, сделанной до возникновения цунами) под каменным настилом набережной слева от лестницы, которая, видимо, уже была с этой стороны в недостаточно устойчивом состоянии. Волна цунами на излете вполне могла сдвинуть две ближайšie к краю каменные плиты, что видно на фото, сделанном сразу после события. Этот факт может служить подтверждением сообщений о накате здесь волны высотой 2–2,5 м (именно у препятствия в тылу пляжа), но он не дает основания судить о силе ее удара о стенку.

Обращает на себя внимание сообщение купальщицы в Ильичевске.

«Долго шла по мелководью, как вдруг дно под ногами провалилось, и меня потянуло вниз. В следующую секунду выбросило на берег и сразу потащило обратно на глубину. Но я выплыла. Видела, как люди бежали с пляжа на возвышенность».

Из другого (неназванного) места сведения отличаются от приведенных выше.



Видеозаписи, посвященные одесскому цунами 27 июня 2014 г., на сайте youtube.com:

www.youtube.com/watch?v=BCR4oqe0DqA

www.youtube.com/watch?v=x_m7d3wKzHo

www.youtube.com/watch?v=IT0yu9WZ7BM

www.youtube.com/watch?v=4pJt9noD-U4

Был звук такой — гул, как самолет летит. Потом пришла невысокая (может, 50 см) волна. Без барашков, без ничего — просто волна. Она начала заходить на берег быстро-быстро, а за ней следом большое количество воды, по колено примерно, шло по пляжу вверх до забора и под забором в море назад.

Прежде чем рассматривать события подробнее и попытаться найти возможные объяснения, приведем суждения и скороспелые версии случившегося, а также сведения о подобных явлениях в Одессе прежде.

Толкования и объяснения водного возмущения

Метеоцунами. Заместитель директора городского департамента экологии В.Дацюк предположила, что «волна возникла из-за перепада температур, ведь все случилось, когда на смену холодам пришло резкое потепление». Конкретные признаки изменения метеообстановки, однако, не указывались. «Дацюк считает, что волна образовалась глубоко в море, а одесситы лишь ощутили отголоски у побережья»*. Среди причин назывались и локальные смерчи в центральной части Черного моря.

В Одесский экологический университет пригласили сотрудника лаборатории цунами Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН А.Б.Рабиновича. Он также считает, что это было не что иное, как метеорологическое цунами. В свою очередь, экологи уверены, что каким бы ни был перепад температур, волна такой высоты не может возникнуть, если в море не произойдет сейсмических преобразований**.

Сейсмическое воздействие. Большинство известных цунами в Черном море имели сейсмическое происхождение [2]. В данном случае, однако, нет оснований принять версию воздействия землетрясения (как и подводного взрыва боеприпасов). «Оборудование сейсмической станции при Одесской государственной строительной академии не зафиксировало никаких подземных толчков или иных геофизических возмущений, которые могли бы вызвать такое цунами», — цитирует ИТАР—ТАСС руководителя станции К.Егупова***.

Оползание на морском дне. Заведующий кафедрой океанологии географического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова С.А.Добролюбов предположил, что цунами мог вызвать подводный оползень: «Не стоит забывать, что в этой части Черного моря весьма протяженный шельф, до 300 км, глубина здесь не превышает 50 м. И только много дальше начинается склон, на котором нередки

оползни. Они-то и могли вызвать подобную волну»****. Предположение гипотетическое и не согласуется с локальностью водного возмущения на берегу. Признаков берегового оползня (на суше) нигде не отмечалось.

Другой вариант оползневой версии предполагает «обрушение массы песка в воду при дноуглубительных работах» у побережья, что «вызвало шторм». Каких-либо подтверждений в пользу такого суждения также не приводится.

Прочие версии. Эколог Н.Шалимов полагает, что это было не цунами, а волна-шатун: «Побережье находится в зоне трансформного разлома, сквозь трещины в земной коре просачиваются газы. Скорее всего, магма поднялась очень близко к земной коре, и произошел перепад давлений». Такое мнение выходит за рамки геологических знаний.

Некоторые одесситы отмечали, что волна могла образоваться из-за подводного взрыва снаряда времен ВОВ или из-за проходящего мимо судна. Другие уверены, что рядом с Одессой курсировала американская подлодка...

Землетрясения прошлого

В Сети появилось несколько упоминаний о накате волн в Одессе в прошлом, но без конкретных фактов, разве что с примечанием «слабее нынешнего». Выделяются несколько сообщений.

Одесситка Л. рассказала: «Лет 50—60 назад тоже была такая волна». Мы обратились к каталогу землетрясений в Карпатском и Крымском регионе. Оказалось, что в период 1954—1964 гг. зафиксированы четыре землетрясения (1956, 1959, 1967, 1969) с магнитудой 4.7—5.0. Но они вряд ли могли породить цунами.

А.Плахонин вспоминает: «Один раз, в сентябре 1987 г., под такую волну я попал, и именно в Одессе, в Черноморке».

Аналитик Украинского центра экологии моря Ю.Денга добавил: «Когда я услышал о том, что произошло, в уме сразу возникла детская картинка. Штиль, вдруг море взволновалось с такой силой, что утащило детей, которые гуляли у берега. Позже выяснилось, что возле нас прошла подводная лодка».

Кроме того, мы получили сообщение Н.Н.Белюсовой о давнем рассказе матери (жительницы Одессы) о необычной волне в довоенное время, подошедшей валом к берегу и взбудоражившей горожан. Это событие можно соотнести с известным мощным глубоководным землетрясением в области Вранча в Карпатах 22 октября и 10 ноября 1940 г., очаг которого располагался в 300 км от Одессы. Событие ощущалось в городе вполне отчетливо.

* <http://www.newsru.com/world/27jun2014/tsunami.html>

** <http://od.vgorode.ua/news/sobytyia/228692>

*** <http://stormnews.ru/archives/10741>

**** Там же.

Возникновение цунами в морском бассейне в результате удаленного землетрясения с очагом на суше и вдали от берега не должно удивлять. Подобного рода возмущения моря надежно установлены и по мареографическим записям. В Черном море это случалось при Эрдзинджанском землетрясении 1939 г. в Турции, на Каспии — при иранском землетрясении 1962 г. В самой Одессе волны цунами отмечались вслед за сильными глубокофокусными Карпатскими землетрясениями 17 ноября 1821 г. и 23 января 1838 г. [2]. После известного Ялтинского землетрясения ночью 11 ноября 1927 г. с $M = 6.8$ мареограф в Одессе 12 ноября в 01 ч 25 мин записал небольшие, неправильные колебания уровня [5].

Во внутренних бассейнах, особенно в не крупных озерах, нередко цунамиподобные явления, когда очаг возмущения располагается вне самого бассейна. Гидравлика процесса при этом совсем иная. Известны также случаи моретрясений во внутренних водоемах, в том числе и в Черном море [3, 6].

Записи видеокамер наружного наблюдения*

Черноморка. На одном из пляжей, находящемся в центральной части захваченного цунами побережья, съемка велась камерой под углом к берегу. Это дает расширенное наблюдение за развитием события, поскольку захватывается большое пространство водной поверхности и берега. Процесс продолжался 1.5 мин (считая от первого явственного появления волны на горизонте). Здесь береговая линия простирается с северо-северо-востока на юго-юго-запад. Главная волна отчетливо показала на расстоянии примерно 200 м от кромки пляжа. Она (как и следующие за ней промежуточные) подходила к берегу с северо-запада. Первый цуг волн шел кулисно друг за другом, несколько наискосок к береговой линии. Гребень первой волны обрушился в 120–80 м от пляжа. Перед выходом на пляж в 3 м на северо-северо-востоке и в 15 м на юго-юго-западе волна опрокинулась вторично, а через 2 с то же произошло и с сопутствовавшей ей парной волной. Еще через 4 с водная масса накатилась на берег, началась паника среди отдыхающих. Люди оказались по колено в воде, которая тонким слоем распространилась по всему пляжу.

Спустя 24 с после обрушения первой волны (как раз при максимальном разлитии воды на пляже) в море, на расстоянии примерно 150–120 м от берега, показали гребешки второй крупной волны. За ней, также кулисно, следовал очередной цуг. Обрушение гребня волны произошло в 40–30 м от кромки пляжа, когда она двигалась параллельно берегу. Разница во времени между

первой и второй волнами оценивается в 1 мин. По ориентировочным определениям расстояний, скорости приближения волн к пляжу составляли 4–5 м/с на расстоянии 200–100 м от берега и 5–6 м/с вблизи него (т.е. 14–18 и 18–22 км/ч соответственно).

Ильичевск. Здесь, к югу от Одессы, вблизи южного края захваченной событием прибрежной полосы (где по откликам «были только отголоски волны») также стояла камера наружного наблюдения. Она находилась на возвышении за пляжем и автодорогой, проходящей параллельно береговой линии, которая также протягивается на северо-северо-восток. Кадр охватил пляж шириной не более 30 м, береговую линию и полосу воды шириной около 50 м. Дальние подступы к берегу и, соответственно, поведение там волн камера не зафиксировала.

Волна здесь была невысокой, небурной и небыстрой. Люди у кромки берега зашевелились, задвигались, но испуга, тем более паники, не было. Вода тонким слоем без каких-либо нарушений (кроме перемещения надувных пляжных аксессуаров) разлилась примерно на 20 м. Спустя 10–12 с она ушла обратно в море, но на северо-северо-востоке.

Более информативной оказалась вторая часть 14-минутной записи, на которой отражены последовавшие сулой (взброс воды) и долгие вдольбереговые перемещения мятникового характера. В 12 ч 37 мин 55 с вода медленно и спокойно двинулась налево (при взгляде на море), вдоль берега к северо-северо-востоку. В 12 ч 39 мин 32 с она так же медленно повернула обратно. В поле зрения слева появился второй сулой. Смещение водной



Примерное расположение пунктов видеосъемки (красными стрелками показано направление съемки) на пляжах Черноморки (I), Ильичевска (II) и берегового комплекса «Восход» в пос.Совиньон (III). Голубыми стрелками обозначены направления и последовательность движения водных масс у берега.

* youtube.com

массы (примерно на 40 м) все время можно было фиксировать по образованию начальных пенистых завихрений. Такое направление движения сохранялось 2 мин 20 с. Далее вода вдоль береговой линии опять стала смещаться влево. Следующая фаза характеризовалась медленным отступанием в сторону моря, длившимся до 12 ч 44 мин, затем движение прекратилось. В 12 ч 46 мин 13 с началось новое возмущение, и вскоре вода стала смещаться опять направо и только через 2 мин 40 с повернула в обратную сторону. Скорость перемещения составляла 0,3—0,5 м/с. Маятниковое перемещение происходило 12 мин. На этом ролик прервался.

Подобный характер движения водных масс, хотя и включает соответствующие цунамиподобным явлениям признаки, в целом для процесса цунами, насколько нам известно, не характерен.

Еще одно важное свидетельство имеется для пляжа берегового комплекса «Восход» в **Совиньоне**. Камера зафиксировала только самое начало наката волны, высота которой в тот момент составляла около 1 м. В кадре хорошо видно, как вода сбивает с ног людей и уносит шезлонги и пляжные зонты. Съемки последствий и опрос свидетелей дают представление о характере волны: накат бурный, быстрый, вода прошла по всему пляжу (шириной до 50 м), людей смывало вместе с креслами и кидало на парапет и забор. При осмотре места происшествия также отмечены около 100 сложенных шезлонгов, опрокинутые металлические пляжные зонты, нарушение коммуникаций. Заплеск в тылу пляжа на каменный парапет составил не менее 1,5 м, а его максимальная высота могла достигать 3 м.

Ищем причину события

Для интерпретации и поиска причины случившегося в Одессе выделим в первую очередь несколько фактов, отраженных в доступных к этому времени источниках.

В наибольшей степени (по числу сообщений, силе действия и последствиям) накат воды наблюдался на юго-юго-западном участке берега протяженностью примерно 8 км (от Черноморки до Ильичевска), с максимумом в северной его части (в береговом комплексе «Восход»).

На пляже в Черноморке отчетливо фиксировались первая волна, отступление воды от обычной береговой линии и через минуту приход второй, меньшей волны. Скорость подхода волн к береговой линии (14—22 км/ч) оказалась на 1/3—1/2 меньше, чем обычно бывает при цунами на океанских побережьях при глубинах около 10 м.

В Ильичевске после первой волны в течение 12 мин (!) происходили медленные (на порядок меньше, чем при накате) маятниковые перемещения воды вдоль берега.

Эти факты (даже каждый в отдельности, а тем более в совокупности) дают основание ограничить поиск источника водных возмущений участком прилежащего к береговой линии дна вблизи Черноморки и Совиньона, т.е. на северо-востоке, вблизи берега и в районе с наибольшим проявлением возмущения.

В поисках причины события рассмотрим следующие показательные признаки: направление прихода первой и второй волн в Черноморке, факт маятникового перемещения водных масс вдоль береговой линии в Ильичевске, рельеф дна и распределение его глубин.

Первая волна в северной части рассматриваемого отрезка берега подошла почти перпендикулярно к пляжу, т.е. с востока или востоко-северо-востока. Объяснить это можно, допустив расположение источника возмущений к северо-востоку от места событий.

Удивительны медленные перемещения водной массы вдоль берега на юге — поочередно в разные стороны. Движение воды от южного пункта началось к северо-востоку. Оно возникло после отката первой волны и носило маятниковый характер вдоль оси северо-восток—юго-запад. Можно допустить, что здесь существовало какое-то препятствие, мешавшее свободному току воды между двумя участками. И действительно, перед входом в Сухой лиман, внутри которого располагается Рыбный порт, устроен искусственный фарватер близширотного протяжения длиной 1,3 км, шириной ~150 м и глубиной 17—21 м, что на 8—16 м больше естественного. Такое углубление не могло не сказаться на перестройке поперечно перемещавшейся водной массы. В первую очередь должна была понизиться скорость ее движения.

В общем, можно полагать, что источник водных возмущений находился вблизи береговой линии, у северного участка, где перемещения воды были более быстрыми, бурными, а накат, соответственно, выше.

Рельеф дна на участке наката воды

Без специальных подводных обследований особенностей дна вблизи береговой линии объяснить возникновение цунами и выяснить изменение глубин на подводной отмели можно лишь в первом приближении. Внимательно рассмотрим батиметрическую карту побережья масштаба 1:50 000 с сечением изобат в 5 м и достаточным числом промеров [7]. Она охватывает подводную отмель (до глубин 20—25 м) на вдольбереговой полосе шириной 11 км на юге и 5 км на севере.

Рельеф дна здесь довольно ровный, с общим уклоном перпендикулярно береговой полосе (т.е. на интересующем нас участке — к востоку-юго-востоку). На этом фоне на юге участка выделяется полоса очень пологого вдольберегового углубле-



Фрагмент карты масштаба 1:50 000. Северо-восточная часть побережья Черного моря. На врезке — участок с необычными формами подводного рельефа [7].

ния (до 20–21 м) длиной 5–6 км. Примерно посередине захваченного цунами берега, севернее устья Сухого лимана (между ним и пос.Совиньон), выделяется нетипичный для соседних участков неровный (в поперечном профиле) рельеф дна. На протяжении 1.2–1.5 км от береговой черты оно опускается до 15–16 м, затем возвышается двумя небольшими параллельными валами до 6–9 и 10 м. Затем через 0.5 км снижается уже до 20 м. Это единственный в Одесском заливе участок длиной 3 км, характеризующийся резким перепадом глубин. Он четко очерчивается изобатой 15 м.

Признать указанные валы подводными аккумулятивными образованиями (т.е. вдольбереговыми волновыми формами) трудно из-за их размеров, соотношения ширины и относительной высоты, нахождения вблизи крупного углубления дна (откуда влекомый по дну материал поступать не может) и, наконец, из-за их уникальности на всем одесском берегу. Абразией вдольбереговые валы на данных глубинах также объяснить нельзя. Остается принимать их как образования структурные. Наиболее вероятным нам представляется рассматривать их в качестве валов выдавливания (выжимания) во фронтальной части крупного подводного оползня с субгоризонтальной поверхностью срыва в подошве. Такая интерпретация не покажется странной, если учесть не столько известные данные об оползневом характере одесского побережья в целом, сколько факт перехода поверхностей скольжения некоторых наземных оползней под воду. Такие поверхности служат и каналами стока подземных вод с разгрузкой у подножия валов выпирания. Это обеспечивает

смазку и облегчает смещения (срывы) оползневых тел, особенно в весенне-летний период.

Поскольку использованная нами карта составлена в 2003 г., понятно, что данные валы существовали задолго до события 2014 г. Заметим, что не только весь захваченный цунами участок одесского берега близок к валам, но в непосредственной близости к ним располагается и пляж с максимальными заплесками волн.

Аномальный рельеф дна

В северо-восточной части рассматриваемого участка подводная песчаная отмель по контуру изобаты 5 м проходит в 150–200 м от береговой линии, а в юго-западной — в 250–300 м. Особенности поперечного профиля дна на севере состоит в том, что на фоне ровного склона (с глубинами от 8 до 10 м) 10-метровая изобата протягивается не прямо в северо-восточном направлении (как в других местах побережья), а образует две продольно-косых впадины странной конфигурации. По их бортам резко выделяются криволинейные склоны с превышениями 1.5–2.5 м. В пределах побережья, где проявилось цунами, подобных впадин больше нет. Такую их форму естественными причинами объяснить нельзя. Скорее всего, это места искусственной выборки песка, что подтверждается их одинаковой формой в плане при различии размеров. Северная выемка длиной 1.2 км и шириной 0.4 км в три раза больше. Обе они изогнуты так, что их устьевые (входные) части открыты к востоку, т.е. от берега (перпендикулярно ему и общему наклону дна), а продолжают в сторону берега и изгибаются к северо-северо-востоку, вытягиваясь в тыловых (тупиковых)

частях субпараллельно изобатам. Еще одна особенность — очень узкая корневая (входная), близширотного протяжения, часть у малой выемки и почти столь же узкая субмеридиональная гряда-перемычка восточнее большой выемки (между ней и крутым нетронутым склоном).

Такие черты не характерны для естественных донных форм и уклонов вообще и на северо-западном участке черноморского побережья в частности. Но они вполне соответствуют карьерным выработкам дночерпателями при добыче песка.

Подчеркнем, что две выемки расположены в 1–2 км к югу от пункта наибольшего проявления цунами, и именно на участке, где выявлены и подводные валы. Трудно считать такое совпадение случайным.

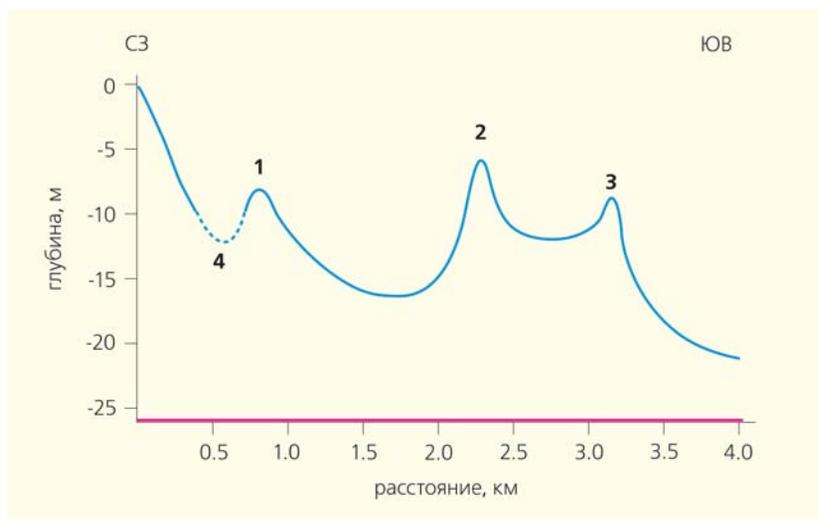
Вероятные причины и сценарий событий

С учетом всех рассмотренных особенностей логически оправданной представляется следующая связь явлений. На участке побережья пос.Совиньон — устье Сухого лимана в 2–2.5 км от береговой линии издавна существовали валы выпирания во фронтальной подводной части плоскости оползневого скольжения. Здесь же, но вдоль ближайшего к берегу склона с глубинами 5–10 м, недавно могла производиться выемка песка. В результате работы дночерпателей или насосов на дне остались узкие ложбины с относительно крутыми бортами. В определенный момент склоны подводных выемок внезапно обрушились, что и вызвало местное водное возмущение. Обрушение могло произойти в виде двух последовательных импульсов. Если при первом оползне возникла ложбина с относительно крутыми стенками, то затем одна из них (обращенная к западу или юго-западу) вторично осела, что и породило вторую волну.

Причиной обрушения водонасыщенного песка с бортов искусственной выемки могла стать даже неощутимая на берегу незначительная подвижка близлежащего (у валов или за ними) фронта древнего подводного оползня, который находился на том же участке дна всего в 1.5–2 км от искусственных выемок.

При таком сценарии нет необходимости для поиска причин водных возмущений за счет атмосферных аномалий в открытом море или за счет взрыва захороненных во время войны боеприпасов вблизи берега.

После написания этой статьи мы, благодаря любезности



Поперечный профиль рельефа дна в районе пляжа БК «Восход» (линия АБ, см. предыдущий рисунок). 1–3 — подводные гряды, вероятно, связанные с фронтальными частями подводного оползня; 4 — место вероятной выборки песка.

А.Б.Рабиновича, смогли ознакомиться с материалами, в которых одесское событие 27 июля 2014 г. признается заключительным звеном серии метеоцунами, обнаруженных на пути резких атмосферных изменений с запада по всему Средиземноморью [8, 9]. Ни в коей мере не подвергая сомнению возможность образования цунами за счет метеорологических аномалий, мы не находим оснований для отнесения к их числу водного возмущения в Одессе.

Метеоданные по Черному морю в соответствующий период не приводились. Основные признаки метеоцунами, выделенные Рабиновичем с коллегами (а именно: образование «длинных океанских волн» вдали от берега, регулярность их возникновения, специфика гавани «с высокой добротностью»), на северо-западных берегах Черного моря вообще отсутствуют, и их значимость (даже если они проявились в южных или центральных частях Черноморского бассейна) для одесского побережья неизвестна.

Если намечаемые нами выводы о причине локального события в Одессе подтвердятся, то это станет едва ли не первым примером возникнове-

ния цунами природно-техногенного характера, во всяком случае на просторах бывшего СССР. Примером не курьезным, но значимым и весьма поучительным в условиях нарастающей и не всегда контролируемой человеческой деятельности в подводном пространстве у берегов.

Событие в Одессе 27 июля 2014 г., хотя и оказалось чисто локальным, имеет выходящее за рамки местного значение. Оно ставит в список актуальных исследований водных возмущений проблему оценки такой опасности в районах подводной строительной и хозяйственной деятельности, особенно неконтролируемой и нерегулируемой. Учитывая нынешний масштаб подобных работ при крупном строительстве и освоении месторождений полезных ископаемых в прибрежных зонах многих акваторий страны, оставить вопрос без внимания означало бы допускать серьезные риски.

Попутно заметим: данный случай — «предметный урок» тем научным работникам, которые безоглядно убеждены в невозможности возникновения явлений со всеми признаками цунами на мелководье. ■

Литература

1. Никонов А.А. Есть ли опасность цунами в южных морях России? // Наука в России. 1997. №6. С.13—18.
2. Никонов А.А. Цунами на берегах Черного и Азовского морей // Физика Земли. 1997. №1. С. 86—96.
3. Никонов А.А. Крымское землетрясение 1927 года: неизвестные явления на море // Природа. 2002. №9. С.13—20.
4. Доценко С.Ф., Еремеев В.Н. Состояние и перспективы исследования природных катастроф Азово-Черноморского бассейна // Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий. Ч.1. Материалы межд. семинара, 14—18 сентября 1999. Севастополь; Киев, 1999. С.87—95.
5. Григораши З.К. Обзор удаленных мареграмм некоторых цунами в Черном море // Труды СахКНИИ ДВО АН СССР. Ю.-Сахалинск, 1972. Вып.29. С.271—278.
6. Никонов А.А. Слабые цунами в Керченско-Таманской области во второй половине XX века // «Стихия-2001»: Междунар. научно-техн. семинар. Тезисы докл. Севастополь, 2001. С.33—37.
7. Карта «Підходи до портів Одеса, Іллічівськ та Южний. Чорне море. Південно-Західний берег». 1:50 000. Киев, 2003.
8. Рабинович А.Б. Метеорологическое цунами. Что это такое? // Jacht Russia. 2015. №3—4.
9. Šepić J., Vilibić I., Rabinovich A.B., Monserrat S. A silent hazard: Widespread tsunami-like waves in the Mediterranean and the Black Sea generated by high-altitude atmospheric forcing // CIESM International Conference on East—West Cooperation in Marine Science. Sochi, 1—3 December 2014 (<http://www.ciesm.org/marine/sochi/abstracts/index.php>).

Кочевой мир Евразии: тысячелетие номадов Востока

Е.Н.Черных

С рубежа 4-го и 3-го до конца 1-го тысячелетия до н.э. в массовых миграциях евразийских кочевых племен оставался практически постоянным приоритет Запада. Апогеем его кочевых культур стала, безусловно, громада скифского мира, удивительным особенностям которого была посвящена предыдущая статья*. Кочевой Восток проявил себя лишь единожды — стремительным и ярким броском на Запад, именуемым в археологии *сейминско-турбинским транскультурным феноменом* и оставившим свои следы от Синьцзяна до Балтики. После угасания скифского мира картина многотысячекилометровых передвижений человека по континенту стала совершенно иной.

На рубеже тех времен, что обозначили переход от второго-третьего столетия до новой эры ко второму-третьему веку новой эры, маятник резко качнулся в обратную сторону. Произошла кардинальная смена направления массовых переселений и завоеваний. В Евразии началось господство номадов Востока. И определили его три могучие волны: *гунны, турки, монголы*. Период их активности продолжался с IV по XIV в., а потому именуется *тысячелетием Востока*. Две ранние волны стали

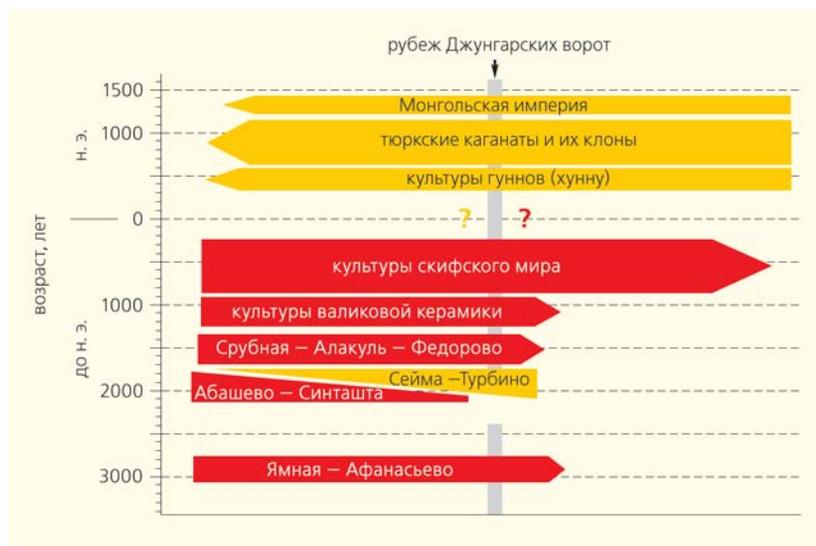
* Кочевой мир Евразии: феномен скифского мира в эпоху железа // Природа. 2015. №3. С.55—68.



Евгений Николаевич Черных, доктор исторических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий лабораторией естественно-научных методов Института археологии РАН. Область научных интересов — история технологий и структура древних культур и общностей Евразии.

порождением поистине «вулканической» эпохи Великого переселения народов, сотрясавшей Евразию с III—IV по VII—VIII вв.

Каждая из восточных волн, несомненно, отличалась от предыдущей. Но было в них нечто общее, особенно заметное при сопоставлении с западными передвижениями народов. Восточные мигранты почти не оставили для нас сколько-нибудь отчетливых археологиче-



Колебания массовых миграций с Запада на Восток и с Востока на Запад Евразии.

ских свидетельств. Идеологические каноны кочевников Востока, в отличие от западных, опирались на представления об асимметричности двух главных миров: у них мир внеземной, нацеленный на реинкарнацию покойника, едва ли не полностью отвергал все материальное, столь значимое в мире земном. Отсюда резкая и удручающая нас обедненность материального сопровождения покойника во внеземное царство, первым делом отразившаяся на евразийском археологическом полотне. Эта «нищета» особенно впечатляет на фоне феноменального богатства канувшего в прошлое скифского мира — звездного часа кочевников Запада.

Важнейшей базой при реконструкции характера и истории восточных кочевых культур стали письменные источники. В огромном большинстве случаев документальные характеристики деяний кочевых народов создавались в недрах тех обществ, что были враждебны кочевникам. Отсюда вытекает необходимость коррекции сведений, извлекаемых из этих анналов, летописей, пересказов очевидцев и т.п. (в исторической науке это называется «критика источников»).

И, наконец, еще об одном сходстве между тремя восточными волнами и их общим отличием от западных миграций. Практически все западные волны, за исключением скифской, не проникали далеко на восток Евразии, ограничиваясь по преимуществу территорией Синьцзяна. Иначе выглядят восточные броски: все они, начиная с самого раннего, сейминско-турбинского, по существу молниеносно пронзали тысячекилометровые пространства Запада, порой оказываясь даже близ Атлантики.

Первая волна: гунны на Западе

В западной части Евразии знаковой фигурой эпохи нашествия гуннов стал Атила — вождь этих народов на протяжении двух десятков лет вплоть до его кончины в 453 г. и последовавшего вслед за ней стремительного исчезновения гуннов из Европы. Однако гунны прорвались на юг континента примерно на столетие раньше Аттилы. Об этом катастрофическом бедствии повествует историк угасавшей тогда Римской империи Аммиан Марцелин*:

* В настоящей статье читатель столкнется со множеством цитат из работ различных древних и средневековых авторов, чьи труды и записки остались для нас на многих языках или диалектах — от латыни и старопикардийского (Аммиан Марцелин, Иордан, Робер де Кларе), арабского (Джувейни, Ибн-ал-Асир, Ахмад ибн-Фадлан, Джамал ал-Карши, Рашид ад-Дин, Шихаб ад-Дин Мухаммад ибн Ахмад ан-Насаби) до монгольского (Лубсан Данзан) и китайского (различные хроники и документы). В ссылках на большинство цитат будут указаны конкретные страницы второго тома книги «Культуры кочевников в мегаструктуре Евразийского мира», где интересующиеся смогут найти более развернутые сведения о работах упомянутых авторов или хрониках, а также о переводчиках данных работ.

Семя и начало всего этого несчастья и многообразных бедствий, вызванных яростью Марса, который своим пожаром сотрясает мир, восходит, как выяснено, вот к какому событию. Племя гуннов, о которых древние писатели осведомлены очень мало, обитает за Меотийским болотом в сторону Ледовитого океана и превосходит своей дикостью всякую меру. Ему вторит живший позднее готский историк Иордан, считавший, что гунны — это свирепейшее племя, которое жило сначала среди болот, — малорослое, отвратительное и сухопарое, понятное как некий род людей только лишь в том смысле, что обнаруживало подобие человеческой речи [1, с.44].

Одряхлевшая Римская империя распалась на восточную и западную части, и Атила терзал своими набегами и ту, и другую. Для установления с ним некоего подобия дипломатических отношений и чтобы хоть частично утихомирить неистовства гуннов, в его стан отрядили посольство с участием Приска Панийского, оставившего труд под названием «Византийская история и деяния Аттилы». Однако по Приску портрет Аттилы весьма отличен от жутковато-омерзительного образа подчиненных ему гуннов, представленного Аммианом Марцелином и Иорданом: *Был он мужем, рожденным на свет для потрясения народов, ужасом всех стран, который, неведомо по какому жребию, наводил на все трепет, широко известный повсюду страшным о нем представлением. Он был горделив поступью, метал взоры туда и сюда и самими телодвижениями обнаруживал высоко вознесенное свое могущество. Любитель войны, сам он был умерен на руку, очень силен здравомыслием, доступен просящим и милостив к тем, кому однажды доверился [1, с.47—48].*

Говорили, что Атила побеждал всех. Однако знаменитую битву с вестготами на Каталаунских полях (современная провинция Шампань во Франции) в 451 г. он проиграл. Тогда посчитали, что судьба Аттилы с гуннскими ордами в Европе решена. Но готам победа далась с великим трудом, ведь даже король их Теодорид погиб в том сражении. Наследники монарха сразу же умчались с поля боя, дабы никто посторонний не посмел воссесть на опустевший трон. Атила же вернулся на север Апеннинского п-ова, вновь *истребляя с яростью... чуть ли не всю Италию*. В какой-то момент прокатился слух, что он намерен направить все свое воинство даже на Рим. И тогда *с мирными предложениями... пришел к нему сам папа Лев*. <...> *Атила прекратил тогда буйство своего войска и, повернув туда, откуда пришел, пустился в путь за Данубий (Дунай)*.

Но спустя два года после Каталаунской битвы Атила завершил свою жизнь совсем не как герой. Легендарный вождь *взял себе в супруги — после бесчисленных жен... девушку замечательной красоты по имени Ильдико. Ослабевший на свадьбе от великого ею наслаждения и отяже-*



Аттила побивает символы западной цивилизации. Фреска Э.Делакруа (около 1840 г.).

ленный вином и сном, он лежал, плаывая в крови, которая... изливаясь по смертоносному пути через горло, задушила его. Так опьянение принесло постыдный конец прославленному в войнах королю.

Археологов же в большей степени интересует описание погребения Аттилы, свершавшегося его соратниками с песнями-славословиями в честь великого короля, который завершил свой жизненный путь, как утверждали его соплеменники, все-таки счастливым исходом и без чувств боли. Затем ночью, тайно, труп передают земле, накрепко заключив его в три гроба — первый из золота, второй из серебра, третий из крепкого железа... Сюда же присоединяют оружие, добытое в битвах с врагами, драгоценные фалеры, сияющие многоцветным блеском камней... Для того чтобы предотвратить человеческое любопытство перед столь великими богатствами, они убили всех, кому поручено было это дело, отвратительно, таким образом, вознаградив их [1, с.50—51].

По описанию Приска Панийского обряд похорон вождя гуннов отличала пышность почти такая же, как у скифского князя! Но вот беда: западные гунны, в отличие от скифов, в археологической реальности не отразили себя фактически никак. Едва ли не все, что нам известно об этом поко-



Медаль эпохи Ренессанса с козлино-подобным профилем Аттилы и латинской надписью «Аттила бич божий».

рившем Запад воинственным народом, доступно из свидетельств трех ранее упоминавшихся авторов. Пусть не постоянные поселения, которых у кочевников могло и не быть, но хотя бы погребения, казалось, должны где-нибудь сохраниться! Ведь гуннов, принявших смерть в битвах, было, наверно, изрядное число... Вот уже добрую пару сотен лет любители жаждут отыскать описанное Иорданом место богатейшего захоронения Аттилы. Но тщетно!

В конце концов вслед за Аттилой исчезли с европейских пространств и гунны. Хороших воспоминаний о себе они, увы, не оставили. И вплоть до недавнего времени, например, англичане и французы в периоды во-

енных обострений с германцами называли тех гуннами, а Гитлер гуннами считал большевиков — ведь все эти силы надвигались с востока.

Гунны-хунну на Востоке: где их корни?

Корни народа гуннов (на Востоке их именуют хунну, либо сюнну) таятся в необозримых просторах горных степей и полупустынь Монголии. На востоке Евразии археологическая ситуация оказалась гораздо проще: места захоронений шаньюев — вождей хунну — неплохо известны уче-

ным. Судя по всему, наиболее ярким памятником их погребального ритуала стала недавно раскопанная и датированная началом I в. богатая гробница гуннского вождя в урочище Ноин-Ула на севере Монголии [2]. Надо сказать, что, хотя некрополи хунну часто считают курганами, они совсем не похожи на величественные погребальные холмы князей скифского мира, одной из функций которых было поражать воображение наблюдателей величиной насыпи над могилой. На востоке масштаб холма подобной роли, видимо, не играл вовсе. Насыпь над усыпальницей часто различалась с трудом, а контуры относительно сложных по конструкции погребальных ям чаще всего обозначали невысокими каменными оградами-выкладками. Поэтому при обсуждении гуннских некрополей термин «курган» предлагается воспринимать как условный — это, пожалуй, даже «антикурган».

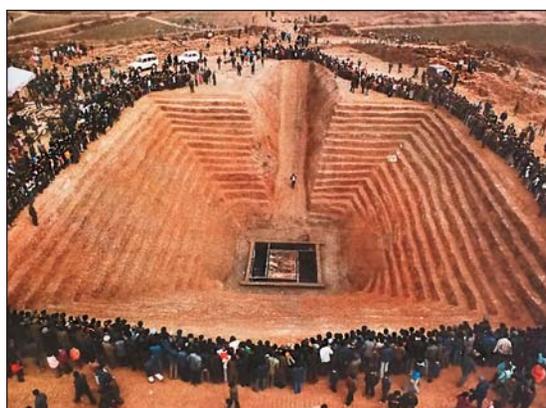
Но если не размер кургана, то глубина погребальной камеры Ноин-Улы поражает — более 18 м! Яма сужается книзу четырьмя или пятью ступенями, а к центру погребального сооружения ведет длинный наклонный ход-дромос. В такой конструкции явно проглядывает исходная китайская имперская доминанта. Еще один пример — поразительная громада сооружения для погребения весьма значимой персоны, приближенной ко двору императора Цинь. Кроме общей архитектуры сильнейшее китайское воздействие на погребальный обряд вождей хунну становится очевидным из обилия вещей китайского происхождения: прежде всего, это парадная колесница для знати с большим зонтом. Ее положили в камеру в размонтированном виде, но останков лошадей рядом не оказалось. Великое множество этих животных чаще всего было связано с погребениями знатных вождей скифского мира, но не хунну.

И наконец, главное отличие: в погребальных сооружениях знати хунну — и не только в Ноин-Уле — практически отсутствуют явные останки покойника. Захоронения ограблены, и мож-



Могильник Ноин-Ула в Северной Монголии: различные фазы вскрытия глубокой погребальной ямы вождя хунну.

но, конечно, полагать, что грабители полностью уничтожали останки тела после извлечения их на поверхность. Однако мне кажется более реалистичным иное объяснение. В захоронениях вождей хунну мы сталкиваемся с определенным отражением канонов той идеологии, когда тело покойного ни в коем случае не должно было завершать свое перерождение, оставаясь под землей в распоряжении *мерзких и пожирающих плоть земляных*



Вскрытые гробницы высших китайских чиновников эпохи Сражающихся царств (слева) и имперской династии Цинь (IV—III вв. до н.э.).

червей. При этом имел место довольно странный симбиоз: комбинация традиционного для восточных кочевников отвержения подземной реинкарнации усопшего с непременным для их вождей подражанием погребальным обрядам китайской элиты, с такой идеологией несогласной.

Отсюда как будто напрашивается вывод: гунны-хунну, вырвавшись победоносно на просторы Запада, отвергают традиционные каноны погребальных обрядов, по крайней мере для вождей. Правда, временное различие могил шаньюев в «антикургане» Ноин-Улы и других монгольских некрополей с воображаемой могилой Аттилы достигает четырех-пяти столетий, а в пространственном отношении около 8 тыс. км. Вполне возможно, что за этот срок и при такой дистанции могли претерпеть заметные перемены и исконные погребальные традиции. Во всяком случае вопрос этот пока остается открытым.

Вторая волна: Восточный тюркский каганат

Начальная фаза волны, связанной с тюркоязычными народами, также совпала с эпохой Великого переселения народов. Полагают, что первоначально зародился один огромный и подавивший многих своих врагов-соседей Тюркский каганат. Очень быстро фактически вся восточная половина Степного пояса, вплоть до Западной Маньчжурии, оказалась подвластной тюркам. В зависимости от них попали и северокитайские государства Ци и Чжоу. Однако намного более впечатляющим был победоносный рывок тюрков на Запад. В 576 г. им удалось овладеть Северным Кавказом и ворваться в Крым, к форпостам Византийской империи. За короткое время фактически весь гигантский домен Степного пояса оказался под властью Тюркского каганата. В те же десятилетия тюрки двигались и в южном направлении. В Средней Азии к 560-м годам им удалось в союзе с сасанидами сокрушить государство эфталитов. Однако уже в 603 г. Тюркский каганат распался на два — Восточный и Западный, и судьбы обоих формирований оказались весьма различными [3].

В попытках воссоздать цельную картину социально-политических объединений кочевых общностей Востока Евразии исследователю зачастую сложно выявить единую и взаимосвязанную цепь событий. Для любого пастушеского социума на востоке материка всегда имели место два главных и непременных врага: соседи-номады и китайские государства. Для кочевого формирования намного проще указать конкретного врага среди царств Поднебесной или же империй вроде Хань или Тан. При обращении же к соседям-скотоводам расположить в убедительном хронологическом и территориальном порядке звенья такой цепочки крайне сложно. Погружение в тексты хроник создает впечатление непрерывных битв: победы сменяются

поражениями, а поражения победами. Если же войн по каким-то обстоятельствам не случалось, то в летописях такие «пустые» периоды комментируются крайне немногословно: *в течение сорока лет ничего не происходило*. Мелькают наименования племен, народностей, каганатов, ханств, но как найти их место на карте? Ограничусь одним из бесконечного множества примеров: *...шаньжуны напали на царство Янь. Правитель Янь обратился за помощью к царству Ци. Хуаньгун, правитель Ци, выступил на север против шаньжунов, и они ушли. По прошествии двадцати лет жунди приблизились к Лою и напали на чжосского Сян-вана. Сян-ван бежал в Фань в царство Чжэн. После этого некоторые жунди поселились в Лухунь и далее на восток до самого Вэй, оттуда они напали, грабили и причиняли бедствия Среднему царству* [1, с.59—60].

Похожие слова звучат и в описаниях Восточно-Тюркского каганата. Его триумфальные взлеты не радовали тюрков многолетием. В 618 г., через 15 лет после распада единого каганата, заявила о себе династия Тан, основавшая новую и могучую империю — одну из самых значимых в многотысячелетней истории Поднебесной. Мощь ее быстро нарастала, и уже через 12 лет Тан смогла нанести решающее поражение конным ордам Восточного каганата. Хотя официальной датой распада этой державы кочевников считают 745 г., прежняя роль оказалась каганату уже не под силу.

Внимание обычно привлекает мемориал, сооруженный в память о Бильге-кагане, одном из ярких вождей каганата, постоянного недруга Поднебесной. Примечательно, однако, что соорудили мемориал отнюдь не соплеменники вождя, а народ табгач или же китайцы. По повелению китайского императора *отправлены были военачальник Чжан Кюй-и и сановник Люй Сян с манифестом за государственную печатью утешить и принести жертву. Император приказал изсечь надпись на каменном памятнике, построить храм и поставить статую его; на всех четырех стенах написать виды сражений. Указано отправить шесть превосходных художников расписать все отличную работой, чего в тукюеском [тюркском] государстве еще не бывало*.

Текст для памятника сочинял Йолыг-тегин, племянник Бильге-кагана, и начиналось все торжественно-эпическим слогом: *Когда наверху голубое Тенгри, а внизу бурая Земля возникли, сотворен был меж ними сын человеческий. Предки мои Бумын-каган, Истеми-каган правили родом человеческим. Они правили народом законами Тюркскими, они продвигали их. С четырех сторон были враги. В сражениях они покорили народы всех четырех сторон, усмирили их. Головы имеющих заставили склониться, колени имеющих заставили преклониться!* Но далее текст меняется: *Слова китайских людей, которые дают нам золото, серебро, алкоголь и сокровища, всегда сладки, и шелка*

всегда мягки. Обманывая своими сладкими словами и мягкими шелками, они привлекают к себе людей издалека. Как люди к ним приближаются, их одурманивали. <...> Они развращают, начиная от одного, до его целой семьи и клана. Будучи обманутым их сладкими словами и мягким шелком, ты, тюркский народ, умирал. <...> Они обманом довели тюркский простой народ до смерти [1, с.89].

Эти строки воссоздают нам образ вечного и неистребимого синдрома приманок, который почти за тысячу лет до этого — еще во II в. до н.э. — весьма талантливо сформулировал советник при дворе ханьского императора Вэнь-ди, и об этом уже шла речь в первой статье предлагаемого читателю цикла*. Любопытно также другое: император позволяет высечь на камне эту странную билингву, где слабости в психике тюрков — а эти слабости сами тюрки скорбно признают — весьма коварно используют политики Поднебесной.

Археология Тюркского каганата весьма невыразительна. Чаще всего внимание привлекают лишь каменные стелы, изображающие хана, вождя какого-нибудь клана или рода тюрков. Фигуры эти, как правило, грубовато-стандартны: схематично изображено усатое лицо, а также руки. В правой руке хан всегда держит кубок с каким-то напитком, а ладонь левой руки опирается на пояс либо на оружие — кинжал или меч. Несколько сотен такого рода стел рассеяны по огромным пространствам Северного Синьцзяна и Монголии. Замечу, что такие стелы к разряду археологических артефактов можно отнести лишь с большой долей условности — они ведь «красуются» на поверхности земли. Позднее появились многочисленные захоронения принявших ислам южных групп тюркоязычных популяций. Однако те уже полностью отвечали канонам мусульманской религии и к традиционным стандартам восточных кочевников отношения не имели.

Мир тюркоязычных народов и Западный каганат

Как уже говорилось, выдающиеся боевые успехи ожидали тюрков в основном на Западе. Ареал их стремительного охвата выходил далеко за границы Степного пояса, особенно на юге. Вполне вероятно, что скорость этого подобного вихря налета в значительной мере была облегчена предыдущей гуннской волной, которая словно проторила тюркам путь на «заход солнца». Правда, различия в характере обеих молниеносных миграций были весьма очевидны. Гунны полностью растворились в истории, оставив о себе лишь недобрую память. Единый же каганат тюрков с его стремительно-победоносным броском до форпостов Ви-



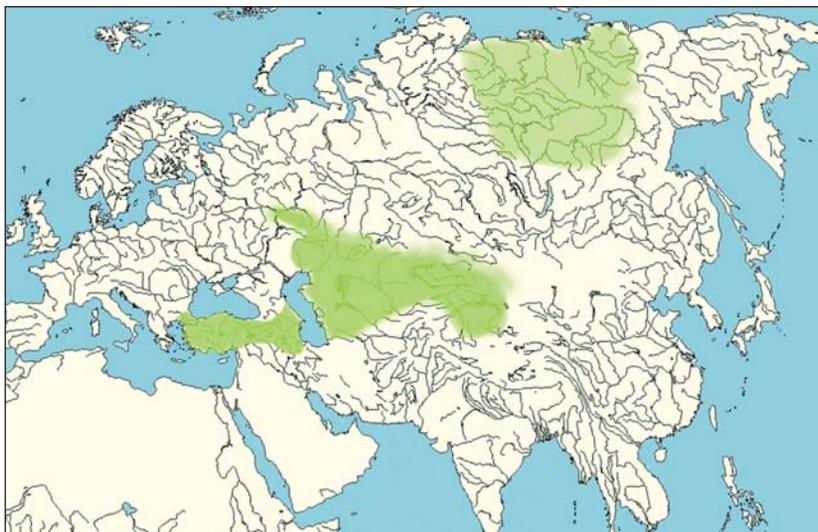
Мемориальные каменные стелы вождей тюрков (Северный Синьцзян и Монголия, VI—VIII вв.).

зантийской империи подготовил почву для органичного встраивания этих народов в плоть евразийской истории. Основную роль в этом сыграл Западно-Тюркский каганат. Именно тогда, уже в VI—VII вв., в мегаструктуре Евразии зарождался особый мир тюркоязычных народов, столь значимый и по день нынешний.

Вполне вероятно, что восточным, тюркоязычным, победоносным пришельцам удалось ассимилировать заметную часть местных кочевников Западной Азии, и те заговорили на новом для себя языке. С того периода на западной половине Степного пояса (или по меньшей мере до Поволжья) можно предполагать не только явное господство прототюркского языка, но также преобладание монголоидов среди пастушеских народов. Упомяну еще об одном северном и весьма своеобразном анклав тюркоязычных народов — якутском. Возможно, что на якутских пространствах сохранились остатки популяций разгромленного Танской империей Восточного каганата. Некоторые тюркские кланы, откочевав на непривычный и неприветливый для них север, уберегли тем самым свою независимость. Если гипотеза о южных истоках якутского лингвистического анклава справедлива, то стоит вспомнить, что в этом суровом краю кочевники ухитрились сначала сохранить, а затем и вывести особую породу «морозоустойчивой» и низкорослой якутской лошади.

Существенно иначе выглядит картина в ареале распространения среднеазиатских народов. В антропологическом отношении здесь сохранялась

* См.: Кочевой мир Евразии: структура и динамика развития // Природа. 2014. №9. С.48—59.



Схематическая карта распространения в Евразии основных ареалов тюркоязычных народов.

господство населения европеоидного облика, однако параллельно все большую силу набирали различные диалекты тюркского языка. По всей видимости, именно тогда был дан старт распространению на востоке Кавказа тюркоязычных народов — кумыков и азербайджанцев.

Огузы: до ислама и после

Кочевья тюркоязычных огузов (гузов) были рассеяны по огромным территориям: к востоку от Каспия вплоть до Аральского моря, а на юге — до Хорезма или же нижних бассейнов Сырдарьи и Амударьи. Об этом народе было известно немного вплоть до арабского посольства в Волжскую Булга-

рию, в котором принимал участие ставший впоследствии знаменитым Ахмад ибн-Фадлан. Это весьма нелегкое путешествие для посланцев аббасидского халифа состоялось в 921—923 гг. Записи ибн-Фадлана интересны особенно тем, как люди оседлых мусульманских цивилизаций — арабских халифатов, еще не так давно сами кочевавшие со стадами в пустынных и полупустынных равнинах Аравии, могли удивляться дикости образа жизни номадов-огузов.

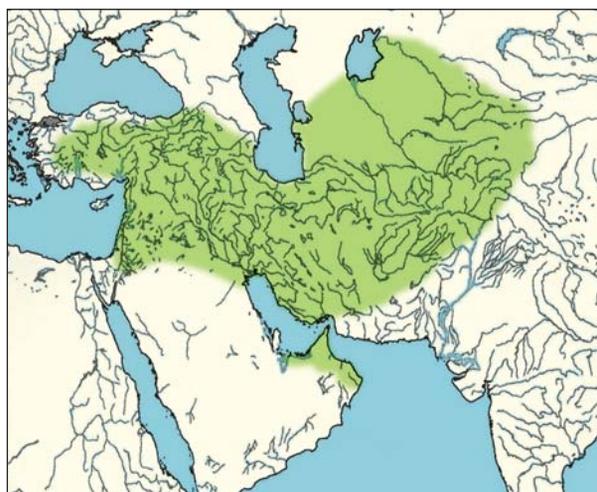
С огромным трудом посольство добралось до племени турок: *вот они кочевники; у них дома волосяные [из кошмы], и они [гузы] останавливаются или уезжают. Ты видишь их дома [то] в одном месте, то такие же в другом, как делают кочевники*

в своих переселениях; и вот они в жалком положении. Вместе с тем они как блуждающие ослы, не изъявляют покорности Аллаху, не обращаются к разуму и не поклоняются ничему, но называют своих наибольших старцев господами... Они не очищаются от экскрементов и от урины и не омываются от половой нечистоты и [не делают] другого чего-либо подобного. <...> Женщины их не закрываются от их мужчин и ни от кого из них, и также женщина не закрывает ничего из своего тела от кого-либо из людей [1, с.107].

Впечатления, конечно, весьма брезгливые, но примерно через шесть десятилетий после написания этих строк молодой полководец-огуз Сельджук начнет свои победные сражения на юге,



Серебряное с позолотой блюдо с изображением штурма хорезмийской (?) крепости конными отрядами огузов (?).



Границы Сельджукского султаната в период его расцвета (XI—XII вв.).

в Хорезме. А в 1040 г. внук Сельджука Тогрул-бек наголову разгромит войско султана Масуда Газневи. Вскоре он полностью покорит Хорезм, а также большую часть Ирана, Азербайджан и Ирак. В 1049 г. принявшие ислам сельджуки дошли до Закавказья и вплотную столкнулись там с Византией. В 1055 г. пал священный город халифатов — Багдад. Вскоре после этого Тогрул-бек получил из рук аббасидского халифа ал-Каима сначала титул султана, а затем и «царя Востока и Запада». Так эти совсем недавно дикие и презренные в глазах представителей южных цивилизаций кочевники сумели быстро объединить племена в знаменитый исламский Сельджукский султанат, сокрушивший восточные арабские халифаты и сдвинувший зыбкие восточные границы Византийской империи едва ли не к побережью Эгейского моря.

Хазары и их каганат

Официальным началом каганата считают 650 г., когда хазары «вылупились» из яйца Западно-Тюркского каганата. Первоначально ареал их господства охватывал степи и предгорья Прикаспия и Северо-Восточного Кавказа. Позднее неудачные для хазаров войны с отрядами халифата Омейядов «отодвинули» их границы к северу, в степи Дона и Волги. Большинство населения каганата составляли полукочевые мобильные скотоводы. Некоторые исследователи полагают, что хазарам удавалось строить впечатляющие величием и мощью города, но это не так. Площадь расположенного на берегу Дона Саркела, одного из самых важных и по существу знаковых хазарских «городов», не превышала 2,6 га, и выглядел он ничтожным на фоне южных городов Византии или халифатов.

Пожалуй, наиболее примечательным и совершенно необычным признаком, выделившим хазарскую державу среди прочих наследников Западного каганата, стал иудаизм, воспринятый за два десятилетия (790—810 гг.) правящей верхушкой хазар. На фоне достаточно жесткой этнической самоизоляции исконных носителей и приверженцев иудаизма — израильтян — проникновение этой ветви авраамической религии в среду степных пастушеских народов кажется событием почти невероятным. Безусловно, нынешний интерес к данному феномену подогревается перепиской между хазарским властителем Иосифом и Хасдаем ибн-Шапрутом — врачом-евреем и советником кордовского халифа Абд ар-Рахмана III (любопытно при этом, что Андалусию на Иберийском п-ове и бассейн Дона разделяют многие тысячи километров). Больше всего Хасдая поразило, что приверженцы иудейской религии внезапно обнаружили в совершенно невообразимом районе, и потому советник из Кордовы жаждал побольше узнать об удивительном анклав

этой религии. Правда, иудаизм в Хазарии был воспринят далеко не всеми. К тому же недовольство выражали соседи хазаров — приверженцы ислама, пожелавшие отвратить хазарского хакана от его «прискорбных заблуждений». Однако у них ничего не вышло: хазарскую верхушку исламисты не смогли отвратить от принятой ею веры, при том что простые скотоводы и воины остались верны канонам традиционной языческой религии — поклонению божественному и всеохватному Тенгри (небу).

Письмо Хасдая ибн-Шапрута Иосифу было написано между 954 и 961 гг., и весьма трудно представить лабиринт тех путей, которыми оно достигло адресата. Интересовал Хасдая не только сюжет о времени изначального обитания израильтян в этих поразительных и малопонятных для обитателя Андалусии степных просторах. Поэтому невероятно растянут перечень вопросов к Иосифу относительно его царства, да и ответы старательно подробны. Так, скажем, Иосиф сообщает своему сановному корреспонденту из Кордовы, что несокрушимое хазарское государство окружают *весьма многочисленные народы в бесчисленном множестве. <...> Они живут и в селах, и городах и в укрепленных стенами городах. Их девять народов, которые не поддаются точному распознаванию и которым нет числа. Все они платят мне дань. <...> Все живущие по берегу моря на протяжении одного месяца пути платят мне дань. <...> Они многочисленны, как песок, который на берегу моря, и платят мне дань* [1, с.103—105].

Увы, письмо хазарского лидера оказалось лживым и беспардонным хвастовством. Похвальбы Иосифа звучат особенно курьезно — ведь жить каганату оставалось недолго. Государство разрывали на части жестокие внутренние проблемы, постоянно перераставшие в воинские схватки локальных вождей. С запада наседали печенег, с востока — стремящиеся уйти из-под владычества хазар огузы. С севера, с целью «отмстить неразумным хазарам», на них обрушились руссы. В 965 г. начал свои походы великий киевский князь Святослав (не Олег, как у А.С.Пушкина). Он внезапно появился на Волге, где в 968 или 969 г. сокрушил хазарскую столицу Итиль. Затем проследовал победным маршем берегами Дона через Северный Кавказ до Тамани и даже вплоть до Балкан. Великий Хазарский каганат растворился, оставив после себя не слишком впечатляющие туристов руины «могучих городов».

Болгары

Реальную историю ранних болгар, или же булгар, можно уверенно отсчитывать от времени прихода с восточных степей на Нижнем Дунае воинственных тюркоязычных орд, возглавляемых ханом Аспарухом (Исперихом). Византийский *царь Кон-*

стантин, услышав, что по ту сторону Дуная на Ольге-реке вдруг поселился какой-то народ, грязный, нечистый, и делает набеги и опустошения во всех прилежащих к Дунаю странах, т.е. тех, которыми они овладели и где прежде жили христиане, крайне обеспокоился. Константин придвинул к лагерю нечистого народа большое войско, но на приступ, однако, не решился. Болгары также в продолжении трех или четырех дней... не смели выходить из [своего] убежища, а римляне по причине болот не начинали сражения; тогда скверный народ, полагая со стороны римлян трусость, сделался смелее. Царь страдал от жестокой подагры и принужден был возвратиться на юг для обычного пользования банями. <...> Болгары, уже приметивши это, преследовали ромеев, весьма многих истребили мечом, многих ранили, гнались за ними до самого Дуная, переправились чрез эту реку и, пришедши к Варне... увидели здесь плоскую землю, со всех сторон огражденную — с тылу рекою Дунаем, с боков горными теснинами и Понтийским морем, овладели живущими здесь семью коленами славян и северян [1, с.100—101]. Такими представляются относимые к 681 г. и официально признаваемые самые ранние шаги Первого Болгарского царства, а также деяния его основателя хана Аспаруха.

Обратим внимание еще на один весьма примечательный результат «огосударствления» болгар. Этот процесс протекал при активном слиянии тюркоязычных восточных воителей с местными славянскими племенами. Военственные тюрки подчинили аборигенов, но в конечном итоге им проиграли. Новый этнос избрал в качестве основного славянский язык, сохранив при этом в своем словарном фонде множество тюркизмов. Вот только титул этноса — **болгары** — отчетливо указывает на исток одного из его слагаемых. Ситуация с болгарам весьма напоминает вариант сложения древнерусской нации, что случилось позднее. Выходцы из Скандинавии — норманны, среди которых оказалось много «руссов», первоначально захватили командные высоты в среде восточнославянских племен. Однако довольно быстро и фактически полностью растворились в массе аборигенов. Остался лишь знаковый титул нового и быстро укрепляющегося этноса — **руссы**.

Крестоносцы-католики и тюркоязычные кочевые половцы

Другим своим краем тюркоязычные номады соприкоснулись с крестоносным католическим воинством. Связано это было со знаменитым, но вместе с тем весьма позорным четвертым крестовым походом. Провозгласив в очередной раз лозунг освобождения Святой Земли и Иерусалима от *грязных и надругавшихся над истинною верой собак*, крестоносцы вместо этого устремили свое оружие против *православных схизматиков* Кон-

стантинополя, столицы Византии. Ведь именно в этой столице, как утверждали «некие» византийские греки, собраны *две трети всех земных богатств... а треть разбросана по свету* [1, с.109].

Первая попытка крестоносцев и венецианцев взять штурмом Константинополь в 1202 г. успехом не увенчалась. И только второй штурм позволил главе войска Бонифацию Монферратскому 13 апреля 1204 г. торжественно вступить в этот огромный город. На месте поверженной Византийской империи сразу же объявили о формировании Латинской империи. Разграбление сокровищ огромного города, казалось, превосходило все виданное до тех пор: *и никогда с самого сотворения мира не было видано и завоевано столь громадное количество добра, столь благородного или столь богатого, — ни во времена Александра, ни во времена Карла Великого, ни до, ни после.*

Однако победоносное ликование длилось совсем недолго. Абсолютно нежданно для крестоносцев на арене возникли тюркоязычные кочевники-куманы — западная ветвь народа половцев. Они вплотную придвинулись к границам Латинской империи в союзе с болгарским войском царя Калояна. Минул всего год, и того же 13 апреля, но 1205 г., под Адрианополем (ныне Эдирне) разразилась кровопролитная битва, завершившаяся полным разгромом боевых отрядов крестоносцев. Смятение чванных победителей Византии поражает. Ведь в их предсталии куманы — *дикий народ, который не пашет и не сеет, у которого нет ни хижин, ни домов, а имеют они только войлочные палатки, где они рождаются, а живут они молоком, сыром и мясом.* И вот теперь эти дикие конные кочевники столкнулись с цветом европейского католического рыцарского воинства, только что сокрушившего византийского гиганта.

Вдруг на землю Константинопольскую вступили однажды [Калоян], он сам и куманы, с превеликим множеством людей. <...> Когда наши ратники увидели этих куманов, одетых в их шкуры, то они больше не устрашились их, а приняли так, словно это была всего-навсего ватага мальчишек; и эти куманы и прочие люди быстро неслись вскачь, и потом ринулись на французов и многих поубивали, и наголову разбили всех их в этом сражении. И император сгинул, так что никогда не узнали, что с ним случилось, и граф Луи, и многие другие знатные люди, и столько других людей, что числа их мы не ведаем, но наверняка там были загублены три сотни рыцарей; и те, кто смогли спастись, бежали в Константинополь. Бежал и дож Венеции, и с ним довольно много людей, и они побросали свои палатки и свое снаряжение [1, с.110—111]. Это поведал нам участник всех сражений крестового похода француз Робер де Клари.

По всей вероятности, именно тогда случилось первое лобовое столкновение номадов самого западного фланга Степного пояса с католическими крестоносными воинскими формированиями.

Легковооруженные половецкие конники и лучники наголову сокрушили отряды закованных в тяжелые латы и обряженных в кольчуги гордых рыцарей. При этом любопытно еще одно: не пройдет и 17—18 лет, как орды половцев-победителей крестоносцев не смогут ничего противопоставить стремительному налету с востока всего лишь двух, но уже монгольских конных туменов Джебе и Субэдя — знаменитых полководцев Чингисхана. И событие это для далекого Запада должно было прозвучать тревожной вестью о накате третьей волны номадов Востока.

Третья волна: Чингисхан и истоки Великой Монгольской империи

По сравнению с предшествующими миграциями гуннов и тюрков история монгольских завоеваний русскоязычным читателям известна несравненно лучше. Правда, это справедливо в основном уже для времени господства монголов в Евразии. Многим памятна многократно повторявшаяся в учебниках знаковая фраза про *триста лет татаро-монгольского ига*, отбросившего Русь, а затем и Россию с якобы перспективных путей развития цивилизации.

Центральной и, без всякого сомнения, ключевой фигурой третьей волны нашествий с Востока стал Чингисхан — основатель самой неохватной в мировой истории сухопутной империи. Оценка его личности и деяний диаметрально противоположны: от палача и коварнейшего варвара, сокрушителя цивилизаций, вплоть до величайшего полководца всех времен, пытавшегося заложить основы всего самого совершенного в евразийской истории*. Если при оценке персоны Чингисхана отвлечься от негативных или позитивных знаков, следует, по-видимому, согласиться, что в евразийской истории для всего *тысячелетия Востока* он заслуживает позиции фигуры номер один — при том, что желания его самые земные и вряд они похожи на стремление указать миру путь к безусловному совершенству**.

* Неподалеку от г.Улан-Батора в 2008 г. был установлен гигантский конный памятник Чингисхану (см.: Черных Е.Н. Структура Евразийского мира на фоне геоэкологии после открытия металлов: Север-Юг // Природа. 2011. №7. С.3—13. Рис.11).

** Свои представления о счастье истинного мужа Чингисхан выразил, как писал Рашид ад-дин, в беседе со своими близкими: *Величайшее наслаждение и удовольствие для мужа состоит в том, чтобы подавить возмущившегося и победить врага, вырвать его с корнем и захватить все, что тот имеет; заставить его замужних женщин рыдать и обливаться слезами; в том, чтобы сесть на его хорошего хода с гладкими крупами меринов, в том, чтобы превратить животы его прекрасных супругов в ночное платье для сна и подстилку; смотреть на их розово-цветные ланиты и целовать их, а их сладкие губы цвета грудной ягоды сосать* [1, с. 138].

Его изначальным родовым именем было Тэмучин (Темуджин), а путь от детства до титула великого хана (каана) оказался долгим и густо насыщенным самыми разнообразными событиями. Тяжкие унижения, вроде роли пленника-колодника, сменялись взлетами; воинские подвиги почти всегда были залиты потоками крови; клятвы в вечной дружбе чередовались с предательствами... Все это предельно ярко, а порой трагично отразилось и на всех последующих этапах истории как самого Чингисхана, так и его наследников — Чингизидов. Переломным годом, сказавшимся на судьбах множества народов нашего континента, стал год Барса — 1206. Именно тогда поклялись Тэмучину в верности многие вожди союзных племен и *поставили его над собою с именем Чингисхана*. Возраст нового вождя перевалил тогда уже за сорок, и он оказался преисполненным глубокой мудрости в деле управления. С года Барса в жизни Чингисхана и подвластных ему можно вести отсчет новой жизни, когда монголам стали доступны новые, ранее неизведанные высоты. Впереди под знаменем великого каана им предстояли два десятка лет почти непрерывных побед над бесчисленными рядами врагов.

Как уже говорилось, восточнымномадам фактически всегда было суждено бороться с двумя врагами — соседями-кочевниками и китайскими царствами. Монголы в этом отношении повторили жизненный путь многих пастушеских племен Восточного Востока. До 1206 г. будущий Чингисхан сокрушал своих соседей-скотоводов, шаг за шагом и быстро спланировав боевую коалицию кочевых племен, своих союзников. Полагают, что начальные успехи в покорении соседей последовали примерно в 1185 г., когда была одержана победа над племенем меркитов, пленивших Бортэ — первую и извечно любимую жену Тэмучина. Однако особую ненависть вызывали у хана тюркоязычные татары, предательски отравившие его отца: *Татары — наши старые враги. Они губили наших детей и отцов* [1, с.122]. Поэтому наиболее жестокие чингисовы смертоносные стрелы были направлены против этого народа.

Когда же все основные враги, соседи-номады были повержены или превратились в союзников, можно было приниматься за Китай. Наступил черед трех китайских государств — Ся, Цзинь (или Гинь) и Сун. *В лето И-чеу [1207] Чингисхан пошел войною на Ся и, взяв укрепление Ла-и-ри, прошел Лосо-хото, пограбил множество людей и верблюдов и воротился* [1, с.125]. Но только в 1227 г., после 22-летней войны с монголами, пресеклась история Тангутского царства, когда *государь царства Ся покорился*. В 1210 г. последовало первое нападение на форпосты царства Цзинь, а через 24 года и эта держава чжурчжэней также канула в вечность. Однако оставалось царство Сун, помогавшее монголам в битвах с тангутами и чжурчжэнями. Столкновения бывших союзников начались

сразу после падения Цзинь, а регулярные битвы — с 1258 г. Через 21 год — т.е. в 1279 г. — и с этим последним в период монгольского владычества китайским царством было покончено.

Чингизиды на западе Евразии

Подмечу одно странное обстоятельство: Восток зачастую обращался к своим исходно-родственным популяциям — восточнымномадам — намного более жесткими гранями, нежели Запад. Вспомним хотя бы трагическую судьбу Восточно-Тюркского каганата предыдущей волны завоеваний. Западные пространства, цивилизации и культуры восточным воинственным мигрантам удавалось одолевать несравненно быстрее, нежели просторы «родного» Востока.

В 1218 г. Чингисхан внезапно решает направить свои силы в противоположном направлении — теперь уже на Запад. Решение это показалось многим соратникам неожиданным, ведь еще продолжались битвы с китайскими царствами. Ближайшей западной державой был огромный Хорезмийский султанат, где правил претендующий на роль лидера в исламском мире хорезмшах Мухаммед. В 1216 г. он отправил во владения Чингисхана посольство, основной задачей которого был, скорее всего, сбор всякого рода данных. Великий хан заверил хорез-

мийцев, что оба царства должны жить в мире и дружбе. Ответный визит *диких монголов* — так их оценивала хорезмийская элита — к Мухаммеду состоялся в 1218 г. *Вручение [султану] подарков сопровождалось речью в высшей степени миролюбивой. «Я знаю о твоём могуществе и величии твоего государства, — говорил монгольский царь устами посла. — Я очень хочу жить с тобой в мире. Ты был бы мне самым дорогим сыном».* Теперь представьте себе хорезмшаха, который, подобно Чингисхану, мнит себя Властителем Вселенной. И вот ему, Владыке, некий *черный дикий татарин* предлагает стать его *любимым сыном*. И тогда при тайной встрече с послом султан спросил того: *Кто же этот проклятый, чтобы обращаться ко мне как к сыну?* [1, с.136—137].

Сказанное Чингисханом о *дорогом сыне* вряд ли можно считать оговоркой или же неосознанной ошибкой. В этом проявились намеренное унижение мусульманского монарха и отчетливая провокация. В том же 1218 г. году властитель монголов снаряжает в Хорезм огромный торговый караван, причем правитель Хорезма и его приближенные справедливо заподозрили, что *прибывшие в Отрар в одежде купцов вовсе не купцы, а лазутчики, выслеживающие то, что не касается их деятельности*. Поэтому товары отобрали, а более сотни сопровождавших этот караван обезглавили. Чингисхан добился своего, и в следующем 1219 г. его тумены пересекли створ Джунгарских ворот и появились на землях Хорезма. А всего лишь через три года (!) Хорезмийский султанат, покрывавший гигантскую площадь до 3—3,5 млн км², испытал трагическую катастрофу. Финал династии хорезмшахов, столь недавно уверенной в собственной мировой значимости, оказался крайне удручающим: недавний хорезмшах Мухаммед, несчастный и покинутый всеми, завершил свою жизнь среди несчастных и пораженных проказой на каком-то неизвестном острове Каспийского моря.

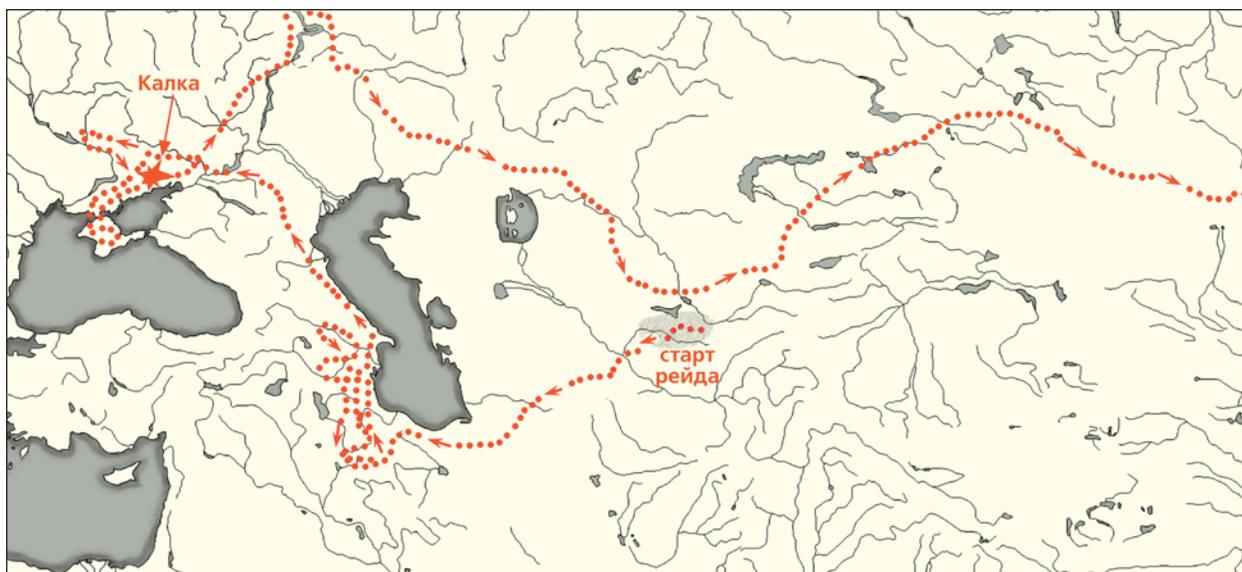
Минули годы, и в 1256 г. внук Чингисхана Хулагу-хан окончательно покорил Иран, после чего династия Иль-ханов стала носить имя Хулагуидов. А еще через пару лет пал Багдад, который по глубочайшей вере арабов никогда не мог быть осквернен и омрачен кровью исламских властителей, ведь там, как полагали арабские мудрецы, находился истинный Центр мира. Тогда и возникла на базе покоренных Хорезма и Ирана обширнейшая держава Хулагуидов.

Северная стрела завоеваний

Прелюдией северной стрелы стал поразительный по своим результатам разведывательный рейд всего двух туменов Джебе и Субэдэя. В начале 1222 г., после сокрушения Хорезма, Чингисхан повелел этим нойонам дойти до неведомых монголам *одинадцати стран и народов*. Задача выглядела,



Штурм священного города мусульман Багдада войском Хулагу-хана в 1258 г. (персидское изображение).



Схематическая карта военно-разведывательного похода туменов Субэдэя и Джебе.

конечно, фантастичной, но фортуна повернулась к нойонам и их малочисленному войску ласковым лицом, отчего персидские хронисты при описании этого похода не скрывали своего потрясения. От разоренного Самарканда тумены отправились в Хорасан и рыскали по стране. Угроза была выполнена, и кровопролитие, грабежи и разрушения были таковы, что ремесленники разбежались в страхе, а земледельцы скитались голые. <...> Люди стали свидетелями таких бедствий, о каких не слышали в древние века, во времена исчезнувших государств. Слыхано ли, чтобы какая-то орда выступила из мест восхода солнца, прошла по земле вплоть до Баб ал-Абваба [Дербента], а оттуда перебралась в Страну кыпчаков [уже Степной пояс], совершила на ее племена яростный набег и орудовала мечами наудачу? <...> Затем, после такого кругового похода, она возвратилась к своему повелителю через Хорезм невредимой... И все это менее чем за два года! [1, с.143].

Для Руси особый трагизм этого рейда заключался, безусловно, в битве 1223 г. на р.Калке. Монголы напали на страну урусов и находящихся там кипчаков, которые к тому времени уже заручились помощью и собрали многочисленное войско. Когда монголы увидели их превосходство, они стали отступать. Кипчаки и урусы, полагая, что они отступили в страхе, преследовали монголов на расстоянии двенадцати дней пути. Внезапно монгольское войско обернулось назад и ударило по ним и прежде, чем они собрались вместе, успело перебить множество народу. Они сражались в течение одной недели, в конце концов кипчаки и урусы обратились в бегство. Монголы пустились их преследовать и разрушали города, пока не обезлюдело большинство их местностей [1, с.143—144].

Выполнив повеления Чингисхана, Субэдэй и Джебе повернули свои тумыны к основным силам монголов, пребывавшим до тех пор в Средней Азии. К 1225 г. все воинство, нагруженное невиданными по богатству трофеями, вернулось в родные края. Тотальная протяженность извилистого и сложного маршрута нойонов с их войском вряд ли была короче 12—13 тыс. км. Если же присовокупить к ним еще примерно 5 тыс. км, что проделали они в 1225 г. от Средней Азии до родных берегов Онона и Керулена, то выходит, что за три-четыре года конная рать обоих полководцев сумела преодолеть, порой с весьма нелегкими боями, примерно 18 тыс. км — а это рекорд!

В поисках могилы Властителя Вселенной

После сокрушения Хорезма и царства Ся пришла пора ухода Властителя Вселенной в иной мир: *На шестьдесят шестом году жизни в двадцать второй год правления, в год красной свиньи [1227], в двенадцатый день седьмого месяца, он стал Тенгри [божеством]. Впрягли аргамаков в большую повозку, на нее возложили золотые останки владыки хагана.* Но повозка в какой-то момент застыла, и заставить ее двигаться помогли лишь заклинания. На месте остановки погребли... его одежду и чулки и поставили над ними юрту. <...> Подлинный труп его, как говорят некоторые, был похоронен на Бурхан-халдуне. Другие же говорят, что похоронили его на северном склоне Алтай-хана, или на южном склоне Кэнтэй-хана, или в местности, называемой Йэхэ-Утэк [1, с.191]. С тех пор бесконечные экспедиции и разного рода любители безуспешно ищут захоронения как Аттилы, так и Чингисхана. Можно было тратить время на по-

иски не только могилы Чингисхана, но и Чингизидов, а также его верных нойонов, либо даже простых монголов. Усилия будут тщетными, ведь все они отправлялись в потусторонний мир без каких-либо признаков богатств в жизни земной. Реинкарнация в асимметричном внеземном мире предполагала истинную духовность и отречение от всего материального. Поэтому в археологии можно именовать внезапное и неожиданное отсутствие признаков некрополей *монгольским синдромом*. С похожим синдромом мы уже сталкивались при попытке понять «хронологический провал» 3-го тысячелетия до н.э. от Балкан до Поволжья*.

Золотая Орда и Русь

После кончины Чингисхана великим ханом в 1228 г. выбрали его сына Угэдея, а на следующем курултае 1235 г. вынесли решение о продвижении орды по Степному поясу на запад, в сторону Европы. Чингисовы потомки во главе с Угэдем подхватили и развили зародившуюся в мыслях покойного Чингисхана идею подчинения монголам всего земного мира, хотя представления об окружающем мире у неборимых тогда завоевателей были самые смутные. Тем не менее в рядах кочевой элиты эта идея стала приобретать каноны, присущие религиозным системам: мировое господство монголам было предопределено самим благословенным и всеохватным Небом-Тенгри. Первовоплотителем воли Неба был, конечно же, Чингисхан.

Так как некоторые окраины государства еще не были полностью покорены, [Угэдей] занялся исправлением этих дел. Каждого из родственников он назначил в какую-нибудь страну, а сам лично намеревался направиться в Кипчакскую степь. Вспомнил Угэдей и о более западных пространствах, и его благословенный взгляд... остановился на том, чтобы царицы Бату, Менгу-каан и Гуюк-хан вместе с другими царевичами и многочисленным войском отправились в области кипчаков, русских, булар [поляков], маджар, башгирд, асов, в Судак и в те края и все их завоевали; и они занялись приготовлением к этому походу. Уже в сентябре 1236-го и в первой половине 1237 г. удары испытали булгары и лесные народы Поволжья. А осенью 1237 г. все находившиеся там царицы сообща устроили курултай и, по общему соглашению, пошли войною на русских. Бату, Орда, Гуюк-хан, Менгу-каан, Кулкан, Кадан и Бури вместе осадили город Арпан [Рязань] и в три дня взяли его [1, с.155–156].

Так начиналось покорение княжеств Руси, когда было захвачено и разрушено множество горо-

дов и поселков. Наверно, самым знаковым событием стала осада Киева и его полное разорение в 1240 г. Затем конные отряды Бату-хана выкатились в бассейн Дуная, где гибли в битвах уже воины венгров, поляков, хорватов. Финальный рывок — и Бату-хан уже мог любоваться голубыми далями Адриатики. Но пышные красоты окрестностей Сплита и Дубровника монголов не прельстили — здесь оказалась самая западная точка монгольских нашествий. Отсюда орда Бату-хана повернула назад, на восток, поскольку в конце 1241 г. завершил свой земной путь великий хан Угэдей. В центре необъятной Монгольской империи начались волнения и интриги в связи со смелой фигуры ключевого лидера.

Чингисов внук Бату-хан выступил организатором громадного северного улуса империи, именуемого Золотой Ордой. Возникла она на базе улуса Джучи, старшего сына Чингисхана от любимой его жены Бортэ, который всегда мучил властителя неясным для него отцовством: *от меня ли он или от захватчика меркита?* В 1224 г. при разделе всех пространств Монгольской империи Чингисхан пожаловал Джучи северные степи. К 1241 г., при Бату-хане, улус приобрел некую территориальную определенность и в этих границах просуществовал до 1480—1481 гг. По преимуществу через пространства Орды пролегал изначальный мост между католическим Западом и неведомым для него евразийским Востоком. И именно Золотая Орда несет на себе жутковатый знак *татаро-монгольского ига* Руси, который она осуществляла в течение 240 лет — но не трехсот! Само иго было сброшено в результате — хотя это может показаться странным — знаменитого бескровного многомесячного стояния русских и монголов на р.Угре уже при Иване III.

При сравнении с другими улусами или же крупными частями Монгольской империи оказалось, что Золотая Орда просуществовала дольше других.

Крах великой империи

К финалу завоеваний территория Великой Монгольской империи покрывала примерно 27—30 млн км² (неопределенность в цифрах обусловлена размытостью реальных границ, особенно в ареалах лесного домена)**. Однако вся эта неповторимая в истории Евразии громада оказалась очень неустойчивой и зыбкой. Так, провозглашенная внуком Чингисхана Хубилаем монголо-китай-

** Границы Монгольской империи показаны на карте ареалов господства основных блоков враждующих между собой сообществ в Евразии во второй половине XIII в. (см.: Черных Е.Н. Структура Евразийского мира на фоне геоэкологии после открытия металлов: Запад—Восток // Природа. 2011. №8. С.43—54. Рис.10).

* Кочевой мир Евразии: Номады запада на заре эпохи металлов // Природа. 2015. №1. С.28—41.

ская династия Юань просуществовала менее сотни лет, и в 1368—1370 гг. ее смели восставшие коренные обитатели Великой Китайской равнины.

В попытках понять причины стремительного коллапса империи кочевников напрашивается странная параллель-аллюзия с мифами древних греков. Несокрушимый великан Антей, опирающийся на Мать-Землю или только касающийся ее, был совершенно неодолим. От Земли Антея сумел оторвать Геракл, тем самым лишив его мощи, отчего тот и погиб в объятиях противника. История непобедимых монгольских конных ратей хотя бы в одном, но очень существенном аспекте отвечает духу этого древнегреческого мифа, и его можно именовать синдромом Антея. Правда, монголов никто не отрывал от их земли — степного домена: они оторвались от него сами и очень быстро утратили свою могучую исходную силу. Золотая Орда, кстати, в отличие от южных улусов оставалась в зоне своего домена, и это, без сомнения, позволило ей сохранять свою значимость намного дольше, нежели другим ханствам бывшей мировой империи.

Противник монгольских ханов по своему характеру и мощи не был похож на Геракла. Он, скорее, напоминал Одиссея, покорявшего неприятелей своей изощренной изворотливостью. Отчетливей всего это удастся проследить на примере китайских цивилизаций, ведь ранее всего печальный для степных завоевателей колокольный набат прозвучал в Китае.

Беспримерная лесть, растлевающая нега дворцов, прихотливые извивы учения иных и неведомых для кочевников религиозных систем — буддизма на Востоке и ислама на Западе — все это подтачивало силы номадов. Одним из самых постыдных и тяжких пороков, что сопровождал погружение кочевников в объятия окружавших их цивилизаций, стал алкоголизм. Возможно, первым алкоголиком в ряду значимых персон стал любимый сын Чингисхана, великий хан Угэдей. *Каан очень любил вино и постоянно находился в опьянении и допускал в этом отношении излишества. Пьянство с каждым днем его все больше ослабляло; сколько ни старались приближенные и доброжелатели удержать его, это не удавалось. Наперекор им он пил еще больше.* Любопытно, что и сам Угэдей сознавал этот свой порок: *Будучи возведен на государев родительский великий престол и восприяв на плечи свои все государственное бремя, бываю я одолеваем темным вином. Вот первая моя вина. А вторая вина моя состоит в тех упущениях, которые произошли от захва-*

тов по наущению беспутных женщин, девиц из улуса дяди Отчигина [1, с.180—181].

Примерно такую же картину можно было видеть в столице монгольских Юаней — Ханбалык (Дайду, будущий Пекин). Великий хан Хубилай, основатель династии, *процарствовал тридцать пять лет и, достигнув восьмидесятилетнего возраста, преставился* [в 1294 г.], *тленный мир оставил своему внуку, каану эпохи, знаменитому государю Тимур-каану.* Знаменит же Тимур-каан оказался тем, что был *большим любителем вина. И сколько его каан [Хубилай] ни увещевал и ни взыскивал с него — пользы от этого не было. Дошло до того, что каан бил его три раза палками и приставил к нему нескольких охранников, чтобы они не давали ему пить вино.*

Тогон-Тэмур — последний и крайне слабый монгольский правитель династии Юань — вынужден был спастись из Дайду бегством. Скорбный «Плач Тогон-Тэмюра» — вот, пожалуй, единственное, что оставил после себя в памяти этот «великий» каан: *Разного рода драгоценностями, прекрасными и совершенными, наполненный мой Дайду! <...> В год красно-лысого зайца лишился я тебя, милый Дайду! <...> Китайцы вмешались, захватили его и оставили мне, Ухагату-хагану, позорное и плохое имя. <...> Все разрушено ныне китайским народом!* [1, с.179].

* * *

В пяти статьях цикла «Кочевой мир Евразии» я постарался представить развернутую картину этого гигантского образования от его первых шагов до апогея. Кроме того, были кратко намечены вполне отчетливые признаки приближающегося кризиса культуры номадов. Распад растянулся на несколько сотен лет, и отдельные — впрочем, достаточно ясные — отголоски исчезнувшего кочевого мира можно было встретить в границах Степного пояса вплоть до самого недавнего времени. Интересно, а русскоязычному читателю интересно особо, что в постепенном разрушении евразийского мира номадов чрезвычайно активную роль сыграло Московское царство, а позднее — Российская империя. Тогда маятник массовых миграций снова качнулся в другую сторону, и давление с Запада на Восток опять стало господствующим.

Весь туго переплетенный клубок вопросов кризиса кочевых миров требует особого внимания. Но провести его строгий анализ в сжатых рамках представленной серии статей вряд ли было бы возможно: скороговорка могла здесь только повредить. ■

Литература:

1. Черных Е.Н. Культуры номадов в мегаструктуре Евразийского мира. М., 2013. Т.2.
2. Полосьяк Н.В., Богданов Е.С., Цэвээндорж Д. Двадцатый ноин-улинский курган. Новосибирск, 2011.
3. Кляшторный С.Г., Савинов Д.Г. Степные империи древней Евразии. СПб., 2005.

Крупные животные Арктики: сколько их осталось?

А.Ю.Гуков,

доктор биологических наук

Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу природной среды
Республика Саха (Якутия)

Белый медведь издавна считается символом Арктики. Не менее известны и другие крупные млекопитающие Севера — тюлени, нерпы, моржи. Но много ли осталось этих удивительных гигантов сегодня и что их ждет в обозримом будущем? Разобраться помогут новые данные, полученные летом 2014 г. российско-шведско-американской экспедицией SWERUS. В ее программу входили экологические исследования и наблюдения за состоянием природной среды Северного Ледовитого океана. В частности, изучались распределение и экология белых медведей, а также ластоногих и китообразных.

Учет морских млекопитающих проводился с помощью бинокля с борта ледокола «Оден» в по-

лосе 2 км (по километру слева и справа от судна). Местонахождение встреч животных фиксировалось с помощью GPS-навигатора, использовалась фото- и видеоаппаратура.

За период наблюдений были зарегистрированы 33 особи белого медведя *Ursus (Thalassarctos) maritimus*, а их следы фиксировались 69 раз. Надо сказать, что распределение этих хищников в летне-осенний период очень неравномерно. К северо-востоку от Северной Земли, в районе океана с глубинами около 100 м, встречены 3 медведя. Южнее, в море Лаптевых, хищников обнаружить не удалось, так как в период проведения экспедиции акватория была уже свободна ото льда. К северо-востоку от Новосибирских о-вов, в районе материкового склона, зарегистрировано 8 белых медведей. На шельфе Восточно-Сибирского моря

© Гуков А.Ю., 2015



Шведский ледокол «Оден».

www.swerus-c3.geo.su.se

плотность медведей была максимальной: в период с 15 июля по 26 сентября отмечена 21 особь. Самка с двумя медвежатами была обнаружена однажды, восемь раз встречались медведицы с одним детенышем.

Полученные в 2014 г. данные оказались неожиданно схожими с результатами авиаучетов белых медведей, проведенных во время ледовой разведки в марте-апреле 1987 г. Тогда исследования проводились в Беринговом, Чукотском и Восточно-Сибирском морях, а также в восточной части моря Лаптевых. Общая протяженность маршрутов составила около 33 тыс. км. На этой территории были отмечены 34 белых медведя (из них 5 самок, каждая из которых с годовалым медвежонком), а также 78 раз регистрировались их следы.

Ареал обитания белого медведя практически полностью совпадает с зоной распространения полярных льдов. С ледовой обстановкой связаны и активные миграции животных. В сезон отсутствия льда большинство медведей откочевывают к северу, а часть их остается на островах. На берегу белые медведи вынуждены подолгу голодать, они часто находятся в истощенном состоянии и погибают. На побережье Якутии и Чукотки животные становятся легкой добычей браконьеров. Уйти в сторону моря медведи не могут, так как лед в последние годы замерзает поздно и остается тонким до середины зимы.

Интересно, что медведи, кочующие по льдам, дрейфуют вместе с ними на большие расстояния. Так, одно из самых крупных течений Северного Ледовитого океана, Трансарктическое, выносит



Медведица с медвежонком на льду недалеко от о.Геральд.

Фото Д.В.Черных

лед и всех его обитателей из Восточно-Сибирского и Чукотского морей в пролив Фрама и далее в Северную Атлантику.

Немаловажное значение для процедуры учета животных имеет подсчет их родовых берлог, которые медведицы создают для себя на время выведения потомства. Максимальная для всей Арктики плотность размещения берлог традиционно фиксируется на о.Геральд, расположенном в Чукотском море в 70 км восточнее о.Врангеля. Здесь закладываются в берлоги около 80% всех медведиц, обитающих поблизости [1]. Рождающиеся на островах Геральд и Врангеля медвежата остаются здесь вместе с медведицами примерно на 3 месяца, после чего вместе покидают сушу и переходят на дрей-



Белый медведь на морском льду — в своей естественной среде обитания.

Фото Д.В.Черных



Лаптевский морж у о.Большой Бегичев.

Фото А.В.Ядренкина

фующий лед. Много медведей, как самцов, так и самок с медвежатами, подходит к берегам островов в августе. А в их окрестностях они в течение всего года охотятся на тюленей и моржей. Таким образом, численность медведей в районе о.Врангеля остается неизменно высокой.

Известно, что примерно 160 медведиц создает берлоги на Шпицбергене, порядка 100 — на Земле Франца-Иосифа. Около 50—60 берлог образуются на побережье Карского моря и Северной Земле. В дельте р.Лены и на побережье моря Лаптевых зафиксированы примерно 10 берлог. На Новосибирских островах размножается не менее 50 медведиц, а на островах Врангеля и Геральд — около 200. По словам териолога Ф.Г.Яковлева, в районе Медвежьих о-вов количество берлог за период с 2010 по 2014 г. увеличилось с 2 до 18.

Исходя из общей численности родовых берлог, которая во всей Арктике, по оценкам различных специалистов, колеблется от 1000 до 1200, можно предположить, что общая численность вида составляет примерно 20 тыс. особей.

В пределах российской Арктики известны три популяции белых медведей: карско-баренцево-морская, лаптевская и чукотско-алаянская [2]. С 1985 г. в Усть-Ленском заповеднике ведутся наблюдения за медведями лаптевской популяции, обитающими на Новосибирских о-вах и в море Лаптевых. За это время накоплены обширные данные об условиях обитания и питании хищников. Так, в центральной части моря и к северу от Новосибирских о-вов основные объекты питания медведей экологически связаны со стационарной припайной полыньей (лаптевоморской частью Великой Сибирской полыньи), которая сохраняется в течение всей зимы и отличается высокой биологической продуктивностью [3]. Воды юго-

восточной части моря, напротив, имеют низкую продуктивность, что напрямую влияет на численность в этом районе объектов охоты медведей — кольчатой нерпы и лахтака. Значительно севернее находятся и лежбища моржей.

В последние 8—10 лет море Лаптевых очищается ото льда на огромной площади, что прямо влияет на миграции медведей. Фактически, в конце августа — сентябре происходит дифференциация лаптевской популяции на две группы по спектру питания: медведи у кромки льдов охотятся на ластоногих, а хищники, оставшиеся на берегу, питаются падалью на берегах. Так, в августе 2010 г. на м.Вальтера (Могильном) на западном берегу о.Котельный

в течение 10 дней велись наблюдения за питанием четырех медведей. Три молодых самца и крупная самка вместе с большим ледовым полем попали на берег. Но метеообстановка резко изменилась, море вокруг острова очистилось, и медведи остались на суше. Им пришлось перейти на питательный подножный корм: животные поедали морскую капусту, гнилую рыбу, трупы чаек-моевок. На птичьем базаре медведь лазил за птенцами по крутым скалам. В глубине тундры молодые самцы разрывали норы и ходы леммингов, поедая грызунов. В поисках пищи на берегу медведь превращается в «охотника за протеином» в любом виде...

Медведи, кочующие по льду, предпочитают охотиться на гренландских тюленей, кольчатых нерп, морских зайцев и моржей. Во время рейса «Одена» два гренландских тюленя (*Histiophoca groenlandica*) наблюдались к северо-востоку от Северной Земли и на льду в районе между Землей Франца-Иосифа и Новой Землей. Обычно тюлень держится в холодных водах у кромки льда и в районах дрейфующих льдов, но во время размножения и линьки встречается в глубине ледовых массивов. К концу зимы тюлени собираются в местах размножения на льду в трех районах: в окрестностях Ньюфаундленда, в Гренландском море между Исландией и Шпицбергенем и в Белом море. Гренландские тюлени беломорской популяции проводят лето у кромки льдов Баренцева и Карского морей, в районах Шпицбергена, Новой Земли, Земли Франца-Иосифа и Северной Земли. Поздней осенью взрослые звери мигрируют к материковому берегу, а в январе-феврале появляются в Белом море.

В северной части Карского моря замечен один самец морского зайца (*Erignathus barbatus*). Кольчатая нерпа (*Phoca hispida*) встретилась в северной части моря Лаптевых. Этот обычный тюлень рас-

пространен по всей акватории моря, включая прибрежные бухты. Он покидает их лишь в конце лета и осенью, когда исчезает ледовый покров. С приближением зимы и образованием новых льдов тюлени возвращаются в прибрежные районы.

Плавающие и припайные льды служат местом отдыха и подводной охоты для всех млекопитающих-пагофилов, то есть тех, жизненный цикл которых тесно связан со льдом. К ним относится и тихоокеанский подвид моржа *Odobenus rosmarus divirgens*. В общей сложности, 170 моржей наблюдались к северу от о.Врангеля. В одном стаде на большом ледяном поле в районе с глубиной моря 45 м (в поисках моллюсков моржи могут нырять на 70 м) насчитывалось 98 особей, в 500 м от этого стада на отдельной льдине находились еще 10 особей. Примерно 50 моржей зарегистрированы в составе другого стада. Отдельно от данной локализации встречена группа из 7 моржей. Три раза в августе встречались одиночные животные.

В конце июня — начале июля к о.Врангеля приходят тысячи тихоокеанских моржей, мигрирующих на север после зимовки в Беринговом море. Крупные залежки они устраивают на дрейфующих льдинах у островов Геральд и Врангеля. В годы, когда в прибрежных водах льды полностью исчезают, моржи устраивают лежбища на берегах островов. В начале октября проходит обратная миграция моржей к берегам Чукотки и в Берингов пролив.

Катастрофическое уменьшение в последние десятилетия площади морского льда в Арктике несомненно оказывает влияние на условия обитания морских млекопитающих. Кольчатая нерпа — основной объект питания медведей в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском — в целом сохраняет свою численность, однако летом, в условиях отсутствия льдов, медведям все сложнее охотиться на этих тюленей. Вызывает беспокойство и низкая численность гренландских тюленей. Уже на протяжении десяти лет популяция этих животных в России быстро сокращается. Сегодня их осталось около 200 тыс., тогда как в конце 1990-х годов насчитывалось более 300 тыс.

Кроме таяния льдов, причиной снижения численности тюленей стала деятельность человека. До 2009 г. это была охота: в России разрешалось добывать 35 тыс. детенышей тюленя ежегодно, но, к счастью, теперь охота на белку в нашей стране запрещена. Медведей же, например, часто убивают в порядке самозащиты. Так, в северо-восточной Гренландии в период с 1941 по 1961 г. было уничтожено около 1000 особей [4]. В то же время, известный полярный исследователь, зоолог

С.М.Успенский считал, что неспровоцированные случаи нападения медведей на человека исключительно редки.

Еще один чрезвычайно неблагоприятный фактор, угрожающий сохранению крупных полярных млекопитающих, — это сокращение территорий, пригодных для их обитания. Создание новых военных баз Министерства обороны и погранслужбы на островах Врангеля («Полярная Звезда») и Котельном («Темп»), на Земле Франца-Иосифа («Нагурская») и еще, по меньшей мере, семи баз в Арктике значительно укрепляют обороноспособность страны, но при этом наносят ощутимый ущерб популяциям животных. Негативное влияние на морские биоценозы оказывает и судоходство по трассе Севморпути.

В 2014 г. в море Лаптевых начала геофизические работы компания «Роснефть». Однако существующие методы сейсморазведки несовершенны, они вызывают гибель водных организмов и нарушение кормовой базы рыб, приводя тем самым к значительному рыбохозяйственному ущербу. Белый медведь, кольчатая нерпа, рыба (сайка, черная треска, ряпушка и др.) — последовательные звенья пищевой (трофической) цепи, неразрывно связанные друг с другом. Численность рыбы снижается из-за нарушения нерестовых условий, уменьшения биомассы ихтиопланктона, зоопланктона и бентоса в районе пневмопушек, а также из-за разгона косяков в радиусе 10—20 км от линий сейсмодъемки. Рыбы стараются не приближаться к источнику шума от сейсморазведки на расстояние менее 30 км; на расстоянии 9 км численность рыб снижается на 45%, а ближе они могут исчезнуть совсем. Вслед за рыбой районы геофизических работ покидают тюлени и белые медведи.

В последние годы появилось множество как государственных, так и общественных инициатив, направленных на сохранение крупных млекопитающих Арктики, в частности, белых медведей. Вместе с тем, разумная организация защиты этих животных возможна лишь при условии получения регулярных достоверных научных данных о характере изменения среды их обитания и динамике численности. Такие исследования сложны и трудоемки, им препятствуют отдаленность региона, суровые климатические условия, длительная полярная ночь и чрезвычайно высокие финансовые затраты. К счастью, эти и другие проблемы не останавливают исследователей и энтузиастов, стремящихся познать и сохранить для наших потомков хрупкую природу Арктического региона. ■

Литература

1. Овсянников Н.Г. Остров ветров и белых медведей. СПб., 2008.
2. Успенский С.М. Белый медведь. М., 1977.
3. Гужов А.Ю. Экосистема Сибирской полярной пустыни. М., 1999.
4. Перри Р. Мир белого медведя. Л., 1974.

Времена и люди

Первый «чистый» физик-теоретик в России

К 125-летию Ю.А.Круткова

Р.Н.Щербаков,
доктор педагогических наук
Таллин (Эстония)

До XX в. физики в своих исследованиях совмещали функции экспериментатора и теоретика. Когда же наука усложнилась, им пришлось выбирать: сосредоточить свои усилия на эксперименте или на теории. Выбор определялся особенностями образования ученого, его наклонностями и умением иметь дело с приборами либо, используя добытые другими опытными данные, обходиться лишь бумагой и карандашом.

Как подчеркивал А.Б.Мигдал, «причина разделения этих двух профессий не только в том, что каждая из них требует... знания методов измерения в одном случае и владения математическим аппаратом — в другом. Главная причина в том, что эти профессии требуют различных типов мышления и различных форм интуиции» [1, с.153—154]. В итоге появились чистые экспериментаторы (Э.Резерфорд, П.Л.Капица) и чистые теоретики (М.Планк, А.Эйнштейн, Н.Бор).

Но это будет позднее, а пока в самой России в 1900 г. всех ее известных физиков, по замечанию Л.А.Арцимовича, «можно было усадить на одном диване, а сумма средств, расходовавшихся... на физические исследования, была во много раз меньше, чем расходы на содержание конюшен дворцового ведомства» [2, с.145]. В этих условиях еще не могло быть ни теоретической физики, ни теоретиков. Первыми из них стали Ю.А.Крутков и В.Р.Бурсиан.

Юрий Александрович Крутков родился 29 мая 1890 г. в Петербурге в семье учителя, ставшего впоследствии директором гимназии. Пройдя обу-



Юрий Александрович Крутков.

чение вначале в Лубенской гимназии на Полтавщине, а с переездом всей семьи в Санкт-Петербург — в 12-й гимназии, он в 1908 г. заканчивает ее с золотой медалью и тогда же поступает на физико-математический факультет Императорского Санкт-Петербургского университета.

Становление физика-теоретика

В годы активного обучения в университете Крутков слушает лекции знаменитого тогда О.Д.Хвольсона, а также И.И.Борзмана, К.К.Баумгарта, Д.С.Рождественского, В.А.Стеклова, Д.К.Бобылева и других известных отечественных ученых и преподавателей. Он старательно и с воодушевлением ведет журналы лабораторных работ и подробные конспекты «Электродинамики» Дж.К.Максвелла, «Механики» К.Г.С.Кирхгофа, статей Н.Е.Жуковского, а также, что особенно важно для его научного будущего, работ А.Эйнштейна, М.Планка, П.Дебая. При этом он с удовольствием посещает физический кружок при университете, занимается самими разными расчетами, приобретая при этом необходимые навыки.

В те же годы приехавший в Россию, воспитанный на работах Л.Больцмана и Х.Лоренца, физик-теоретик П.Эренфест организует семинар, на котором обсуждаются актуальные проблемы математики и физики и в работе которого активно участвуют как математики (А.А.Фридман, Я.Д.Тамаркин), так и физики (К.К.Баумгарт, Д.С.Рождественский, А.А.Добиаш и др.). Для нас же самое интересное, что этот семинар посещала и студенче-

ская молодежь: Ю.А.Крутков, В.Р.Бурсиан, В.М.Чулановский, В.Г.Хлопин и другие, воспитанные в итоге школой Эренфеста и впоследствии ставшие известными учеными той эпохи.

Для насыщенного событиями периода жизни Юрия Александровича важной становится прочная и плодотворная дружба с В.Р.Бурсианом, В.М.Чулановским, В.К.Фредериксом, П.И.Лукирским, В.И.Павловым. Все они были бескорыстно преданы науке, талантливы, почитали квантовую механику Бора и теорию относительности Эйнштейна, намеревались сделать свой вклад в развитие и совершенствование этих проблем физики и нести идеи современной науки в среду учебной молодежи и всего общества. А главным для них были беседы с Эренфестом — известным европейским ученым и талантливым учителем.

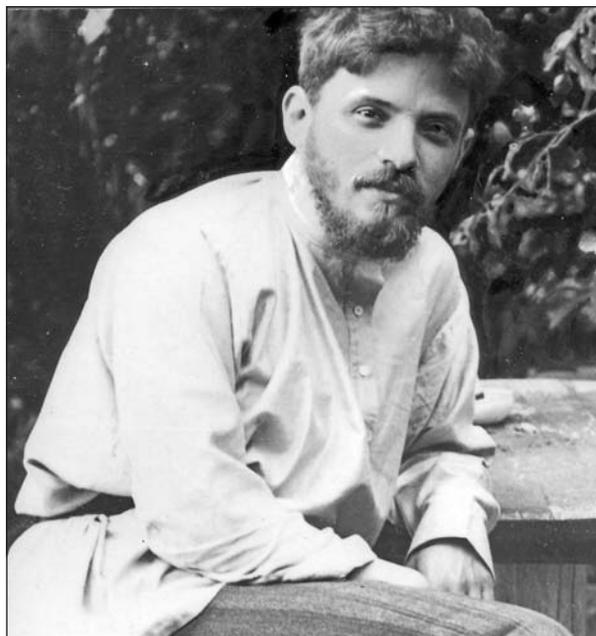
В процессе длительного и весьма плодотворного общения с Эренфестом молодой Крутков принимает решение стать физиком-теоретиком. Но собирается при этом сохранить и развить со временем стремление учителя «к предельно ясным доказательствам, тщательный отбор и анализ исходных предположений и аксиом теории, математическую жилку, круг научных интересов» [3, с.211]. Юрий Александрович хочет посвятить себя, однако, не столько развитию квантовой механики и ее приложениям к конкретным задачам: его больше интересуют аналитическая механика, теория упругости и статистическая механика.

С конца 1913-го по начало 1914-го г. Крутков, очарованный личностью учителя и духовно укрепленный в своих помыслах решать проблемы физики по-эренфестовски, слушает в Лейдене лекции по теоретической физике как Г.А.Лоренца, так и П.Эренфеста, а в Утрехте — П.Дебая. Под руководством Эренфеста, причем в нередких дискуссиях, в которых кроме него участвовали его друзья Бурсиан и Фредерикс, он постигал основы физики начала XX в. Тогда же, по словам Юрия Александровича, он узнал от своего учителя о значении для физики величин, названных Эренфестом адиабатическими инвариантами.

В свою очередь, Эренфест уже весьма скоро высоко оценил своего первого ученика. Об этом свидетельствуют слова, написанные при прощании с Крутковым, покинувшим Лейден в 1914 г.: «В среду Крутков еще будет докладывать на коллоквиуме у Лоренца (кванты света). Он здесь за короткое время многому научился. Я очень его люблю и отпускаю крепя сердце» [4, с.131].

Научные исследования

В 1915 г. Крутков окончил Императорский Петроградский университет (так он назывался с 1914 до 1917 г.) и был оставлен при кафедре физики для преподавания. Но еще годом раньше он начинает публиковать свои первые научные работы, пока-



Таким молодым и вдохновенным Пауль Эренфест начал преподавание в Санкт-Петербургском университете. 1911 г.
Фото из архива «Природы»

зав, например, что утверждение Эйнштейна о квантах света в представленном им виде приводит не к формуле М.Планка, а к формуле В.Вина. В 1916 г. молодой ученый, к тому времени уже авторитетный знаток и почитатель квантовой механики, к тому же хорошо осведомленный в ее проблемах, публикует в «Журнале Русского физико-химического общества» (ЖРФХ) обстоятельную и объемную статью «О теории квантов».

По существу, исследования Юрия Александровича вначале были связаны с квантовой теорией Планка и Эйнштейна, а затем со статистической теорией как раз в том направлении, который прошла эта область физической науки от классических работ Л. Больцмана и Дж.У.Гиббса до возникновения статистики Бозе—Эйнштейна и Ферми—Дирака. Наконец его интересы сконцентрировались вокруг проблем механики, именно ее Крутков преподавал в университете со всем присущим ему мастерством. На все свои изыскания в науке Юрий Александрович потратил 20 лет. И в трагические годы заточения, о которых речь еще пойдет, он уделял внимание в основном классической механике [5].

Между тем научная деятельность и публикации Круткова набирают силу. В 1918 г. он публикует статьи «О квантовании условно-периодических систем» и «Об основной формуле статистических систем». Особый исторический и научный интерес представляет его статья «Адиабатические инварианты и их применение в физике», опубликованная одновременно в «Трудах ГОИ» (Государственного оптического института) и в том же ЖРФХ

за 1921 г. В ней содержится представление и о самих инвариантах, и полная общая теория. Статья имела немалое практическое значение, ибо лишь инварианты — это величины, подлежащие квантованию.

Научную проблему адиабатических инвариантов Крутков унаследовал от своего учителя, который впоследствии следил за его успехами, обсуждая с ним те вопросы и возможные подходы к их решению, которые занимали его уже достаточно зрелого ученика. В конце 1913 г. в статье «Об одной механической теореме Больцмана и ее отношении к теории квантов» Эренфест подчеркивает, что «при адиабатическом воздействии на периодическую систему отношение средней во времени кинетической энергии к “частоте” остается неизменным (теорема адиабатического воздействия)» [6, с.53]. По отзывам Н.Бора, М.Борна и А.Эйнштейна эта работа Эренфеста сыграла важную роль при переходе от квантовой теории Планка—Эйнштейна к квантовой механике Л.де Бройля, В.Гейзенберга, М.Борна и Э.Шрёдингера.

Итак, в квантовой теории Бора теорема Эренфеста прижилась и частенько находила свой спрос при осмыслении основных понятий. Более того, в те же годы ученых беспокоит соответствие между квантовой и классическими теориями. В конечном итоге Бор в 1918 г. формулирует принцип соответствия, в обсуждении которого принимает участие и Эренфест. Таковы события в новой физике, которые оказали существенное влияние не только на формирование ее понятий и представлений, но и на пробуждение у молодого Круткова интереса к ним, благодаря педагогическому таланту приезжавшего в Россию Эренфеста.

В 1919 г. Юрий Александрович защитил диссертацию «Об адиабатических инвариантах», в которой на примерах из теории газов, маятника переменной длины Рэлея—Эйнштейна, из небесной механики им был развит общий метод нахождения адиабатических инвариантов соответствующих систем. Спустя 35 лет после ее появления в свет М.А.Леонтович заметит, что она «не только не утратила своего значения и теперь... но и по сей день является лучшим изложением этого круга вопросов, имеющих теперь и много новых применений в физике» [7, с.190].

Итак, если, в 1914—1916 гг. Крутков еще только нащупывал свой путь в науке, то в начале 20-х годов он, вдохновляемый Эренфестом, выполнил ряд важных работ по теории адиабатических инвариантов, а именно тех величин, что остаются практически неизменными при медленном (т.е. адиабатическом), но не обязательно малом изменении внешних условий, в которых находится данная система, либо самих ее характеристик (внутреннего состояния, массы, электрического заряда и т.д.). Такое изменение должно происходить за время, значительно превышающее характерные периоды движения системы.

Интерес к адиабатическим инвариантам возрос в годы осмысления понятий квантовой механики, тем более что инвариантам придавалось принципиальное значение. Сегодня эта теория — одна из основ квантовой механики и статистической физики. Тогда же с момента формулировки Бором в 1913 г. правил квантования шли мучительные поиски обоснования адиабатических инвариантов, в отыскании которых принимал активное участие и Эренфест. На основе адиабатической теоремы своего учителя Круткову удалось решить в наиболее общем и полном виде задачи, относящиеся к квантовой статистике.

Борн в письме Эйнштейну от 28 октября 1920 г. просил: «Пожалуйста, разузнай у него [у Чулановского] о Г.Круткове. Он послал мне статью об адиабатических инвариантах, которая представляется мне превосходной. Он, должно быть, превосходный теоретик. Ранее я ничего о нем не слышал». К сожалению, и работы Круткова, и Эренфеста, как образно выразился В.Я.Френкель, «в новом здании квантовой механики существуют в виде своеобразных “скрытых параметров”»; лучше сказать, они были теми строительными лесами, от которых освободился фасад этой теории, когда ее построение было завершено» [3, с.215].

В те годы познакомиться с теорией относительности и квантовой механикой и, более того, услышать четкое и ясное изложение их существа можно было лишь в стенах Петроградского и Московского университетов и Политехнического института, и лишь от тех отечественных ученых, которые, впитав в себя атмосферу новых научных свершений, прошли школу ведущих европейских ученых и в конечном итоге сформировались в крупных исследователей с неординарным стилем решения конкретных задач. Прежде всего к ним относились Я.И.Френкель, И.Е.Тамм, Л.И.Мандельштам.

Создание центра физических наук

В годы после Гражданской войны Юрий Александрович принимал активное участие в постановке и развитии научных исследований в физике в появившихся на свет институтах в Петрограде. В Рентгенологическом и радиологическом институте он был единственным физиком-теоретиком, в Государственном оптическом институте (ГОИ), руководимом Д.С.Рождественским, стал участником собраний и семинаров, опубликовал в «Трудах ГОИ» свои работы. На физико-механическом факультете Политехнического института у А.Ф.Иоффе читал лекции, участвовал в проведении реформы преподавания на физико-математическом факультете университета и делал многое другое.

В 1922 г. Крутков, как один из образованных физиков и авторитетных не только в России, но и в Европе ученых нового поколения, избира-



Дмитрий Сергеевич Рождественский.

Владимир Александрович Фок.

Абрам Федорович Иоффе.

ется председателем физического отделения Русского физико-химического общества. Однако в дальнейшем его деятельность все более тесно связывается с Ленинградским государственным университетом, а в Академии наук — с Физико-математическим институтом, причем в годы, когда его директорами были А.Н.Крылов и С.И.Вавилов. Кроме того, в 30-х годах Юрий Александрович заведует кафедрой Военно-механического института.

В 1920 г. по инициативе Рождественского при Оптическом институте была создана Атомная комиссия. В нее вошли Рождественский, Иоффе, Крылов, Фредерикс, Бурсиан и др., стал ее членом и Крутков. Планировались решение ряда теоретических и экспериментальных задач и реализация организационных мероприятий, в том числе налаживания связей с европейскими учеными относительно шагов по решению задачи о строении атома. Круткову и Рождественскому поручалось, в частности, сформулировать задачу исследования магнитного взаимодействия между электронами атома.

Но, несмотря на то что новая наука нуждалась в применении теоретических методов исследования, ведущие ученые Д.С.Рождественский, Д.А.Рожанский, А.Ф.Иоффе недооценивали роль теоретической физики. По воспоминаниям академика И.В.Обреимова, работавшего тогда в ГОИ и Ленинградском физико-техническом институте (ЛФТИ), впоследствии — крупного экспериментатора, «Все они полагали, что физики-теоретики — это вычислители, а не мыслители. <...> К физикам-теоретикам, даже крупнейшим, Абрам Федорович [Иоффе] относился снисходительно». По его словам, «...у нас в ЛФТИ есть Френкель, в университете — Крутков и Бурсиан, и этого довольно» [8, с.45].

Наряду с чисто научной и научно-организационной деятельностью Юрий Александрович занимался преподаванием в петроградских, ленинградских вузах. При этом главное внимание он уделял подготовке будущих физиков в Ленинградском университете. Начав преподавание в 1919 г. и став профессором в 1922-м, он читал механику, впервые представленную в векторной форме, и статистическую физику, а также составил программу по механике как составной части теоретической физики. Его преподавание было процессом творческим, из которого, кстати, родились его научные работы.

Большинство слушателей Круткова отмечали присущие ему черты: умение выбрать лекционный материал, новизну подачи и способность донести идеи до студентов. По воспоминаниям С.Э.Фриша, тогда студента, Крутков «был... очень красив собой, живой, остроумный. <...> Начав преподавать, проявил себя лектором исключительного блеска. У него было все: и оригинальность изложения, и глубина, и умение сделать материал доходчивым, и внешняя эффектность. Он мог, как Фредерикс, запутаться в выкладках, даже объявить: то, что он рассказывал, — неверно, но это не вредило ему» [7, с.191].

У Юрия Александровича появляются ученики, прежде всего это В.А.Фок (совместная статья их о рэлеевском маятнике появится в 1923 г.) и аспиранты, например Г.А.Гамов по теме адиабатической инвариантности квантового маятника с ограниченными амплитудами (в 1931 г.). Их он высоко ценил и им же поручил разработку своего метода определения адиабатических инвариантов заданной системы. Фок, ставший позднее знаменитым, мирового масштаба, ученым, считал Круткова своим любимым учителем. Именно Крутков со-



П.Эренфест и Г.А.Гамов (в первом ряду справа) на первой Копенгагенской конференции, организованной 8—15 апреля 1929 г. Институтом теоретической физики (ныне — Институт Нильса Бора).

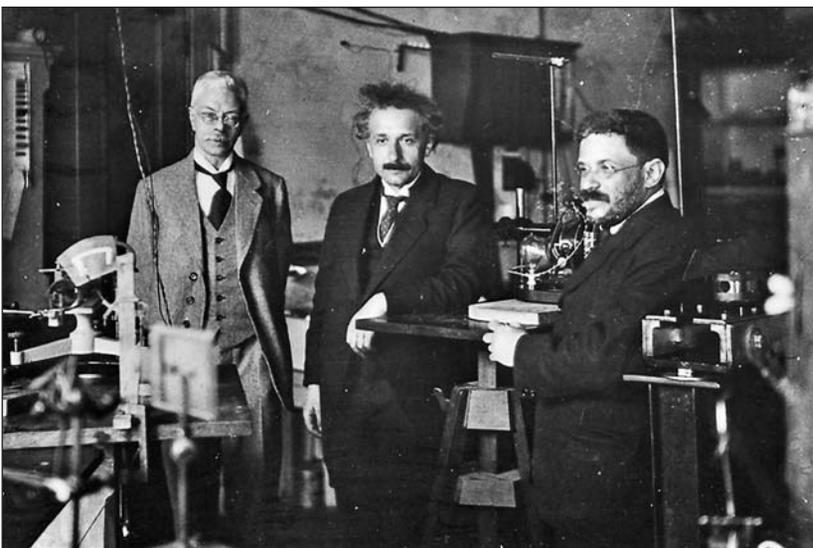
Фото из архива «Природы»

действовал, в частности, тому, чтобы Фоку еще студентом было разрешено читать курс механики сплошных сред.

В 1922—1923 гг. Крутков находился в Германии и Голландии, прежде всего для налаживания научных связей между советской физикой и известными школами физики Германии, Англии,

Голландии и Франции. При этом важной частью его работы стала закупка необходимых книг, журналов и приборов для Оптического и Рентгенологического институтов, Петроградского университета и Академии наук. В Берлине для выполнения этой работы обосновался центр физиков России в лице А.А.Архангельского, С.А.Богуславского, В.М.Чулановского, М.М.Глаголевой, Л.В.Мысовского и других.

Кроме того, лично для Юрия Александровича чрезвычайно полезными были встречи и общение с ведущими европейскими учеными А.Эйнштейном, Г.Лоренцом, П.Дебаем, Г.Каммерлинг-Оннесом, О.Штерном, Ф.Франком, Д.Гильбертом и, конечно, с П.Эренфестом. В ходе дружеских встреч шло обсуждение в основном работ Круткова, его выступления на съезде физиков в Бонне, где он услышал одобрение своего доклада. Но сам Крутков участия в исследованиях квантовых идей практически не принимал. Его вклад в эту область физики ограничивался лишь отдельными замечаниями [9].



Питер Зеeman, Альберт Эйнштейн и Пауль Эренфест. 1920-е годы.

Фото из архива Американского института физики

По весьма точному замечанию историка науки В.Я.Френкеля, в этом плане он ограничивался «ролью пропагандиста новых идей, знакомя ленинградских физиков с основными работами творцов этой теории в рамках систематических лекций, читавшихся им в Ленинградском университете или на семинаре ЛГУ, руководимом П.И.Лукирским и С.Э.Фришем, а также в стенах Физико-математического института Академии наук СССР» [3, с.221]. Таким же было его поведение и в отношении общей теории относительности. По ней Юрий Александрович, как и Фредерикс, Фридман, Бурсиан и др., читал лекции.

В 1923 г. Крутков в гостях у Эренфеста встречается с Эйнштейном. Юрий Александрович убеждает Эйнштейна, что его космологические уравнения описывают конечную и неизменную во времени Вселенную и при этом допускают расширение либо сжатие Вселенной, и как раз на этом выводе доказательно настаивает Фридман. В итоге Эйнштейн признает его правоту. Юрий Александрович же в письме к сестре с удовольствием напишет: «Победил Эйнштейна в споре о Фридмане. Честь Петрограда спасена!» [10, с.197]. То была истинная забота Круткова, очень важная для престижа молодой советской науки.

В 1925—1926 гг. Крутков и Я.И.Френкель, получив стипендию «International Education Board», провели 10 весьма плодотворных в научном отношении месяцев в Гёттингене, Гамбурге и Берлине. В Гёттингене они вместе с Вавиловым слушают курс квантовой механики, читаемый Борном, посещают семинары его и Гильберта. Об этом Вавилов сообщает в письме В.Л.Левшину, добавляя при этом, что оба ленинградца просвещают его о существовании только что созданной квантовой теории Шрёдингера и Гейзенберга, которую сам Вавилов шуточно называет новой кабалистикой.

В 1928 г. Крутков провел два месяца по командировке Академии наук в Гёттингене и Берлине. В 1933 г. Юрий Александрович избирается в члены-корреспонденты АН СССР, а в 1934 г. ему присваивается ученая степень доктора физико-математических наук по совокупности работ по квантовой теории, статистической механике, о вращении тел и об адиабатических инвариантах. Он докладывал их на заседаниях Русского физико-химического общества начиная с 1917 г. и на съездах физиков в 1919 и 1920 гг. В письме к Эренфесту Иоффе отмечает, что «Крутков подробно развил теорию адиабатических инвариантов и усердно квантует атом» [4, с.274]. В 1922 г. Крутков пишет: «Гипотеза квантов обладает той особенностью, что, несмотря на почти двадцатилетнее существование, вовсе не получила общей формулировки, позволяющей прилагать ее к частным случаям. В каждом случае чутью исследователя поставлен... полный произвол». И далее он подчеркивает: «Решение «адиабатической» задачи уменьшает этот произвол настолько, что во многих случаях его

можно считать исчезающим. Таким образом, наш метод, не давая, конечно, «объяснения» гипотезы квантов... дает ей твердое обоснование» [11, с.11].

Мир классической физики

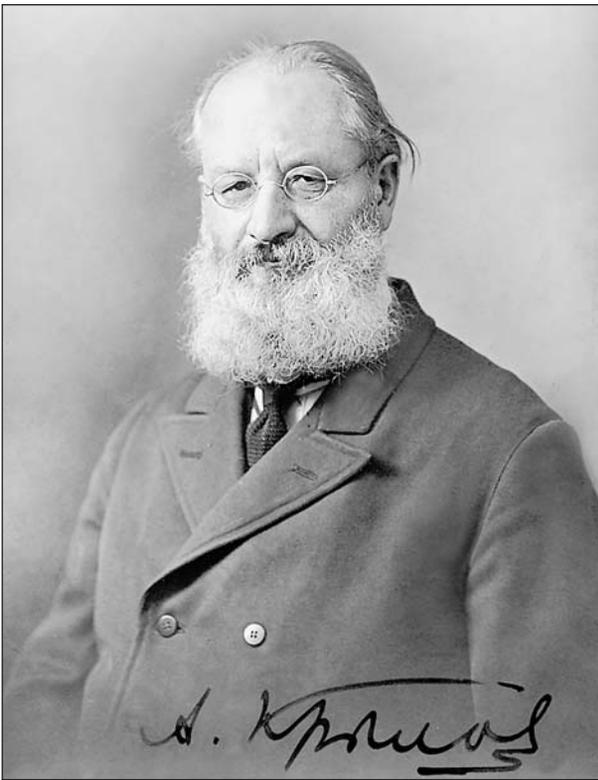
Постепенно Крутков отходит от своих прежних научных интересов, связанных с проблемами старой квантовой механики, и обращается теперь уже к классике (броуновскому движению и теории упругости). Рождалась квантовая механика Шрёдингера, Гейзенберга и Дирака с ее вероятностным описанием. Понимание ее требовало от ученых немалых усилий. По словам В.Гейзенберга, «желавший ее понять должен был изменить структуру своего мышления по меньшей мере в сфере физики; он должен был ставить другие вопросы и использовать иные, чем прежде, наглядные образы» [12, с.195].

Чем можно было объяснить отход Юрия Александровича от исследований в квантовой механике? Трезвой оценкой своего таланта и возможности внести свой вклад в ее развитие и теми причинами, на которые позднее указывал Гейзенберг? Переувешиванием, в конечном счете, в его сознании классики с ее четкостью и определенностью? Критическим для занятий теоретической физикой возрастом? Или обстоятельствами, связанными с преподаванием совсем не квантовой, но классической механики и статистической физики? Это мы уже вряд ли узнаем. А ведь Крутков прекрасно владел теорией Бора и всеми ее проблемами.

В 1931 г. выдающийся кораблестроитель и ученый Крылов пригласил Юрия Александровича для чтения лекций. Оба они прочли курс лекций для конструкторов аэронавигационных приборов «О теории гироскопов». Спустя десятилетие Крылов так оценит стиль преподавателя Круткова: «Не говоря о совершенно исключительных достоинствах его устного изложения, необходимо отметить, что он в своих лекциях не ограничивался изложением результатов уже известных, а вносил и новые методы» [7, с.187].

В 1932 г. Крутков вместе с тем же Крыловым опубликовал монографию «Общая теория гироскопов и некоторых технических их применений». В ее первой части авторы систематически изложили механику гироскопических устройств, дали теорию девиации гироскопа и гироскопика, а также рассмотрели вопросы гироскопической стабилизации, сформулировав при этом идею многогироскопной стабилизированной платформы. Во второй части книги, написанной самим Крутковым, содержится векторное (в тот момент еще малодоступное) изложение ряда вопросов прикладной теории гироскопов.

В 1933 г. Юрий Александрович опубликовал в «Докладах АН СССР» статью «О новом типе квазиординат», в которой он предложил свою



Алексей Николаевич Крылов.

идею введения нового типа квазикоординат, соответствующих угловой скорости вращающейся системы референции, рассматриваемой как функция не только времени и положения движущихся материальных точек, но и их скоростей. Такого рода квазикоординаты могут оказаться полезными, например, в теории следящих систем. Таким образом, Крутков за эти годы своего творчества внес ценный вклад в теоретическую механику.

В 1933–1935 гг. Крутков уделяет особое внимание броуновскому движению. Он формулирует свои представления и выводы относительно его теории, высказывается и о линейных задачах, и о применении его к боковой качке корабля, и о распределении фаз, скоростей и смещений свободной частицы, и о частных случаях, а также о броуновском вращательном движении частицы с осью симметрии. И здесь проявился присущий ему экономный стиль при выводе основных соотношений теории, связывающих (при действии на частицу броуновских ударов) средние значения квадратов импульса отклонения частицы с температурой.

Вкус к истории науки у Юрия Александровича был развит благодаря еще Хвольсону и Эренфесту. Отчасти поэтому он берется за подготовку статьи и комментариев о развитии и экспериментальном обосновании молекулярно-кинетической теории вещества для сборника классических статей А.Эйнштейна и М.Смолуховского по броуновскому дви-

жению, опубликованного в 1936 г. Еще в 1923 г. из печати вышел сборник работ по второму началу термодинамики, в нем Крутков и Бурсиан были редакторами и соавторами комментариев к работе С.Карно «Размышления о движущей силе огня».

За все время активных научных исследований Юрий Александрович опубликовал около полу-сотни работ, в том числе 10 статей за рубежом. Среди них два десятка его научных работ посвящены квантовой механике и статистической физике. Остальные его научные работы сосредоточены на решении отдельных вопросов броуновского движения и теории упругости. Уже изменение самой тематики в творчестве Круткова свидетельствует об изменении его научных интересов — переходе от неклассической квантовой теории к классике — статистической механике и теории упругости.

Согласимся с В.Я.Френкелем в том, что «собственные активные научные интересы Круткова от теории квантов Планка—Эйнштейна и адиабатических инвариантов Эренфеста все более склонялись в сторону статистической механики и просто механики. Оба эти курса (а также статистическую физику) он читал в ЛГУ в 20–30-е годы, привлекая в первую половину этого периода к чтению лекций и ведению семинаров своего ученика и сотрудника по университету В.А.Фока (который, между прочим, был первым, читавшим в университете и систематический курс квантовой механики)» [3, с.221].

Драма и победа ученого и гражданина

Начиная с 1930-х годов сотрудники ГОИ и физики-теоретики ЛГУ испытали на себе все последствия начавшихся репрессий. В 1934 г. были арестованы Е.Ф.Гросс, В.К.Прокофьев, Г.Г.Слюсарев, В.А.Фок и др. На физическом факультете ЛГУ первыми были арестованы В.Р.Бурсиан, а спустя несколько дней В.К.Фредерикс (объявленный террористами) и Ю.А.Крутков, в 1938 г. — П.Л.Лукирский, М.П.Бронштейн, Л.Д.Ландау и др. В основном это были заведующие теоретическими кафедрами или отделами и, как мы теперь понимаем, гордость отечественной науки [13].

Итак, в конце декабря 1936 г. Юрий Александрович был арестован и приговорен к 10 годам лишения свободы. Провел их вначале в Канских лагерях, в Орловской тюрьме и затем в Москве в «туполевской шарашке» вместе с Ю.Б.Румером. Был досрочно освобожден в сентябре 1946 г. и направлен в расположенное близ Сухуми закрытое КБ (Физический институт) в системе Министерства внутренних дел. Там Крутков под руководством Густава Герца (племянника Генриха Герца, ставшего лауреатом Нобелевской премии совместно с Дж.Франком в 1925 г.) занимался математическими расчетами, связанными с промышленными методами разделения изотопов урана. В марте

1947 г. Юрий Александрович был освобожден и вскоре вернулся в Ленинградский университет.

В создании для Круткова благоприятных, насколько это возможно, условий в заключении и после него, условий для нормальной жизни и работы активно участвовали В.И.Смирнов, В.А.Фок, С.И.Вавилов, А.Н.Крылов, И.В.Курчатов, А.И.Лейпунский, М.А.Леонтович и другие известные ученые страны. Об этом свидетельствуют их отзывы о научных работах и научной деятельности Юрия Александровича, подготовленные в 1939—1940 гг. и 1956 г. (для реабилитации) [7]. Максимальное участие в судьбе своего учителя и всяческую помощь на первых порах после его возвращения из заключения оказывал академик Фок.

Крутков сразу же начинает заведовать кафедрой математики на математико-механическом факультете. Его с радостью встречают коллеги, появляются студенты, дипломники и аспиранты. Вступая в привычное русло, его жизнь постепенно налаживалась. Написанная им в годы заключения теоретическая работа по теории упругости в 1949 г. была издана Академией наук в виде монографии «Тензор функций напряжений и общие решения в статике теории упругости». За специальные работы во время заключения ему, а также Г.Герцу и Х.Барвичу была присуждена Сталинская премия.

Десять лет перерыва в период бурного развития физики, гибель его друзей Бурсиана и Фредерикса стали для Юрия Александровича необратимой физической, интеллектуальной и психологической потерей. После освобождения он прожил всего пять лет. Надорванное сердце в конце концов не выдержало всех невзгод, и 12 сентября 1952 г. 62-летний ученый скончался. Только в 1957 г., благодаря немалым усилиям своих коллег, крупных ученых, он был реабилитирован, но уже посмертно. Среди других собравшихся провожал Круткова в последний путь его ученик Фок.

Итак, представители трех научных поколений — Эренфест, Крутков и Фок. Между ними воз-

никла тесная интеллектуальная и чисто человеческая симпатия, плодотворная в научном отношении. Свой жизненный путь они прошли с переменным успехом. Эренфест — человек европейского воспитания и образования, вращавшийся в кругах вершителей физической науки и занимавшийся оптикой и теорией относительности, квантами и квантовой механикой и другими проблемами, в том числе статистикой, сформировавшись в крупного ученого с критическим мышлением. Его ученик Крутков, познакомившись с европейской наукой и благодаря Эренфесту впитавший в себя вкус и страсть к теоретическому мышлению, первым среди отечественных ученых посвятил себя теоретической физике: квантовой теории и адиабатическим инвариантам, статистической физике и механике, добился ощутимых результатов. И, наконец, ученик Круткова Фок, с его серьезным вкладом в общую теорию относительности, квантовую механику, квантовую электродинамику и т.д., стал ученым мирового класса [13].

Но, оказывается, главным в 20-летней деятельности Юрия Александровича было то, что он стал связующим звеном между европейской наукой в лице Эренфеста и других ученых и наукой отечественной, обеспечив в итоге появление выдающегося теоретика Фока. И если волею судеб Эренфест, не удовлетворенный своим вкладом в науку и семейными обстоятельствами, покончил с собой в возрасте 53 лет, а его ученик Крутков был вырван из науки на целое десятилетие, прожив лишь 62 года, то Фок более-менее благополучно служил науке и стране до 76 лет.

Доживи Юрий Александрович до наших дней и осознай он, что именно самое выдающееся удалось ему сделать для отечественной науки и своего отечества в целом, возможно, Крутков в большей мере гордился бы именно этими своими усилиями в развитии теоретической физики и научной культуры, а на второе место поставил бы уже свой личный вклад в науку. ■

Литература

1. Мигдал А.Б. Поиски истины. М., 1983.
2. Арцимович Л.А. Физик нашего времени // Наука сегодня. М., 1969. С. 140—160.
3. Френкель В.Я. Юрий Александрович Крутков: К 100-летию со дня рождения // Исследования по истории физики и механики. М., 1990. С.210—229.
4. Эренфест — Иоффе. Научная переписка (1907—1933). Л., 1990.
5. Крутков Ю.А. Тензор функций напряжений и общие решения в статике теории упругости. М.; Л., 1949.
6. Эренфест П. Относительность. Кванты. Статистика. М., 1972.
7. Физики о себе. Л., 1990.
8. Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972.
9. Крутков Ю.А. Принцип аналогии Бора в теории квантов // Успехи физических наук. 1921. Т.2. Вып.2. С.272—276.
10. Протт Э.А., Френкель В.Я., Чернин А.Д. Александр Александрович Фридман. Жизнь и деятельность. М., 1988.
11. Развитие физики в России. Т.II. М., 1970
12. Гейзенберг В. Шаги за горизонт. М., 1987.
13. Владимирова Л.Ф. От квантовой механики к общей теории относительности. Академик В.А.Фок: Теоретическая физика в чистом виде. М., 2012.

Курьезы с размерами: корова Стеллера и другие примеры

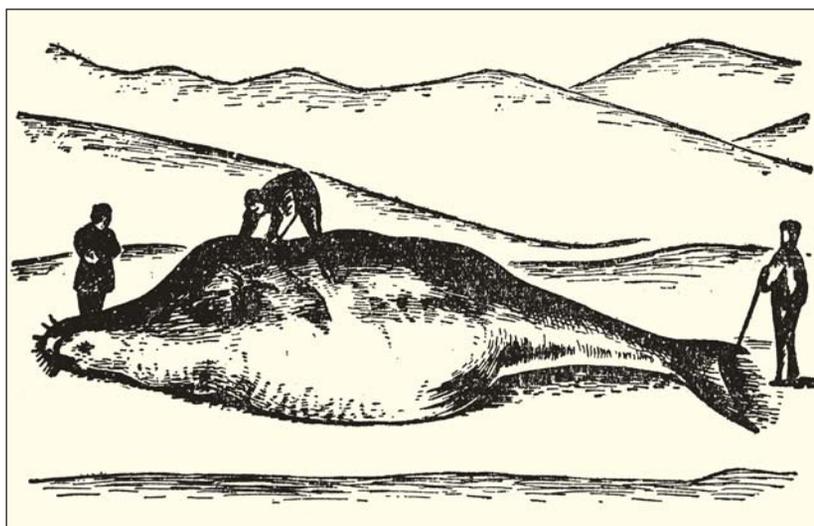
В.Е.Быкасов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
Петропавловск-Камчатский

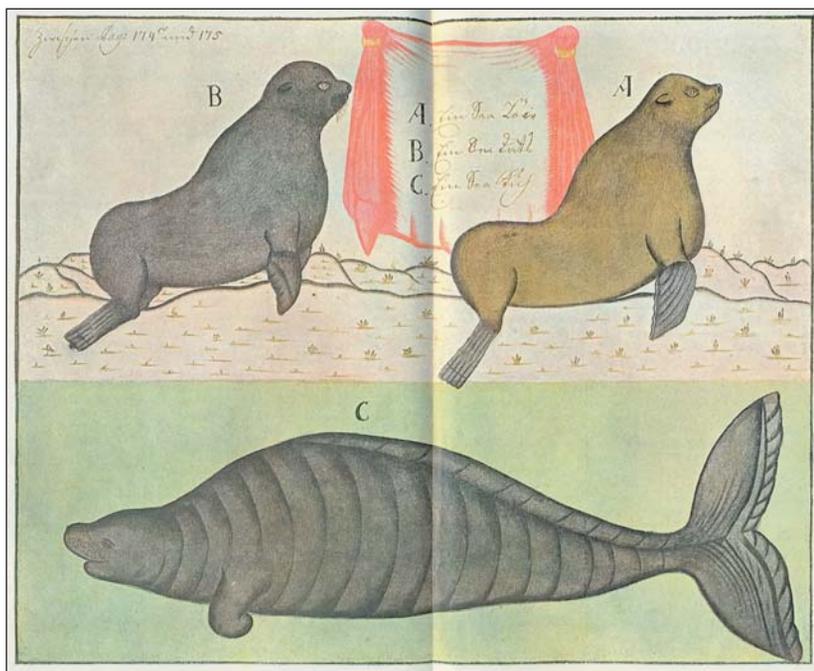
Морская корова (*Hydrodamalis gigas*). Загадочное, если не сказать полумифическое, животное, на память от которого остались только скудные описания немногих очевидцев, два рисунка с натуры, воспроизведенных в статье С.Ошанина* и в книге С.Вакселя [1], а также несколько относительно полных скелетов, хранящихся в различных музеях мира. Тем не менее, на основе этих материалов был довольно точно воспроизведен внешний облик и установлен образ жизни «капустницы»**. Так что, казалось бы, ничего нового к написанному ранее добавить просто невозможно.

Однако при внимательном прочтении источников [2–8] я обратил внимание на одно обстоятельство, связанное с анатомией коровы Стеллера, которое до сих пор почему-то ускользало из поля зрения всех предшествующих исследователей. Впрочем, изложу все по порядку.

Как известно, начало изучению морской коровы положил Г.В.Стеллер, высадившийся 6 но-



Георг Стеллер исследует тушу морской коровы. Предполагается, что рисунок был сделан в 1742 г. Ф.Плениснером (Ошанин С. Цит. соч. С.77).



Морская корова. Рисунок Ф.Плениснера [1, вклейка между р.48, 49].

* Ошанин С. Травоядные гиганты моря // Наука и жизнь. 1965. №12. С.76–81.

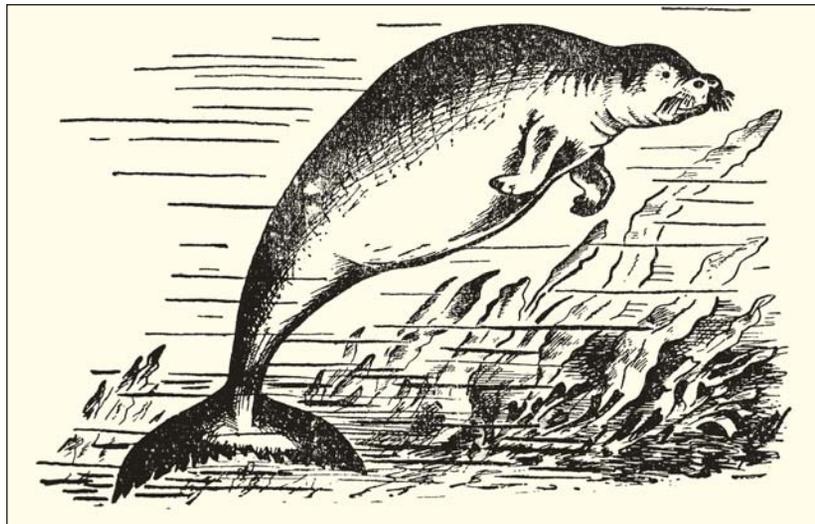
** О стеллеровой морской корове см.: Берзин А.А., Тихомиров Э.А., Трошин В.И. Исчезла ли стеллерова корова? // Природа. 1963. №8. С.73–75; Воронцов Н.Н. Почему морская корова сохранялась на Командорах? // Природа. 1973. №11. С.124; Калякин В.Н. О тайнах былого распространения стеллеровой коровы // Природа. 2002. №6. С.6–12.

ября 1741 г. в составе первого отряда моряков с пакетбота «Св. Петр» на необитаемом дотоле острове Беринга. Академик А.Ф.Миддендорф сказал по этому поводу, что судьбе было угодно сделать так, что именно такому точному наблюдателю, как Стеллер, наука оказалась обязана отчетливым указанием отличительных особенностей анатомии морской коровы, измерением частей ее тела и описанием образа жизни [3]. Все последующие находки более или менее полных скелетов этого животного, продолжает ученый, позволили академику И.Ф.Брандту всего лишь до последних мелочей исправить и дополнить показания Стеллера.

Таким образом, сомневаться в точности отображения Стеллером анатомии морской коровы не приходится. Однако нелишне будет ко всему сказанному великим натуралистом добавить еще одно, малоизвестное, описание этого животного:

А оная корова имеет, например, длины сажень печатных с четыре или более, толщиной аршина в два с половиною, шириною аршина в три, на передке под грудью имеет две ноги, длиною по аршину или менее, толщиною в округлости в один аршин; а вместо копыта так же, как и у верблюдов, бывает мягко, назаде ласт так же, как у морского кита; а под передними ногами две титьки, как скотинныя, только не белы, величиною по курячьему яйцу; а мяса бывает весом, кроме жиру, ста по полтора пудов, жиру пудов с шездесят, почки две, как у скотинных, весом семь пуд обе, и весь оной коровы внутренний потрох подобен во всем рогатого скота потроху; а мясо и жир очень вкусны и по употреблению в пище здорово, а особливо почки вкусны [9].

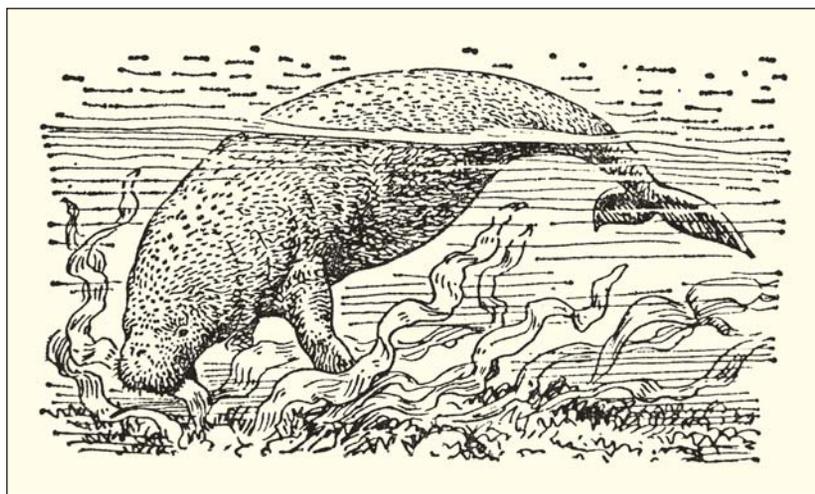
А нелишне напомнить потому, что именно по причине отменнейшего вкуса мяса животного, а также вследствие легкости добычи самой «капустницы» уже всего через 27 с половиною лет немногочисленная (1,5–2 тыс. животных) популяция морской коровы была уничтожена полностью. Это можно считать самым первым из научно установленных фактов уничтожения человеком столь крупных животных. По этому вопросу Миддендорф высказался следующим образом: *Академики наши Бэр и Брандт оказали на-*



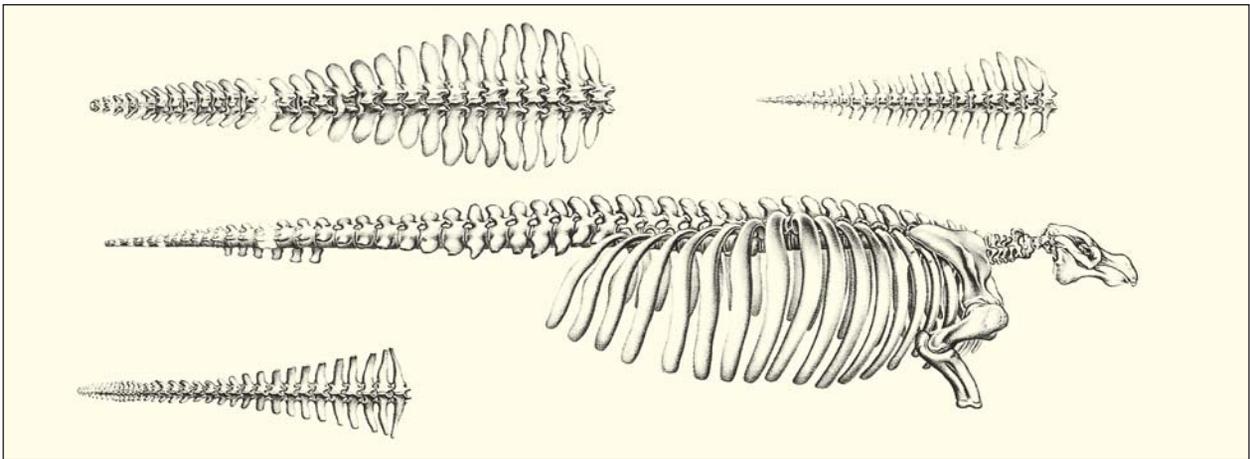
Морская корова. Реконструкция В.Ковалева. (Ошанин С. Цит. соч. С.77).

уже неоценимую услугу тем, что устранили всякое сомнение относительно первого весьма важного примера совершенного истребления человеком одного вида сибирских животных, так называемой Стеллеровой морской коровы... [3, с.56].

Впрочем, цель моей заметки — не объяснения причин и обстоятельств уничтожения морской коровы, а привлечение внимания к одному факту, относящемуся к анатомии «капустницы», который опровергает мнение Миддендорфа об исправлении до последних мелочей первичных данных Стеллера. И в самом деле, при прочтении изданий и переизданий «Дневника плавания с Берингом» Стеллера, созданных на основе белой копии («списка») рукописи данного дневника, обнаруживается, что во всех этих источниках длина полового органа самца морской коровы оценивается либо в одну морскую сажень (фатом, 1.83 м), либо в одну русскую сажень (2.13 м).



Морская корова (Биологический энциклопедический словарь. М., 1989. С.377).



Скелет морской коровы [10, S.287].

Например, в американском издании «Дневника» пишется: *The male organ is like an ox's as concerns length and position; but in its shape and nature like a horse's, nearly a fathom* [здесь и далее выделено мной — В.Б.] *long and wisha sheath fastened under the navel* [8, p.161].

То же самое повторяется и в отечественных переводах данного американского издания: *Мужской орган сходен с бычьим по длине и строению; но по форме и природе он похож на лошадиный, имеет почти сажень в длину и оболочку, прикрепленную под пупом* [5, с.129; 6, с.139].

Иными словами, как можно видеть из этих описаний, мужской орган самца морской коровы, якобы сходный по размерам с бычьим, в конце концов оказывается равным длине туловища быка. Что курьезно уже само по себе.

Не менее курьезной выглядит и диспропорция в анатомии самой морской коровы. И в самом деле, судя по скелету животного [10, S.287], его голова с шеей плюс хвост с плавником составляли почти половину общей длины его тела. А при таких пропорциях фаллос самца практически оказывается равным половине длины его туловища.

Ну а если допустить, по аналогии с моржами, сивучами и морскими котиками, что самка морской коровы могла быть на 1—1.5 м короче самца, то ее матка, при таких пропорциях, должна была бы располагаться не после желудка, а перед ним, в районе пищевода. Что совершенно несуразно с анатомических позиций. Например, даже у такого очень крупного (до 18—20 м и более) животного, как кашалот, размер пениса составляет 180—200 см, а длина влагалища самок колеблется от 160 см у яловых до 180—200 см у кормящих и беременных особей [11, 12].

Таким образом, такое описание интимной части анатомии «капустницы» иначе как научным курьезом именовать нельзя. Что же касается причины этого, то она довольно банальна и заключается в подмене одной меры длины (фута), на дру-

гую — фатом, которая произошла во время переписи набело рукописи «Дневника» Стеллера. Буква «f», которой, для краткости, Стеллер обозначал футы, переписчиками его черновой рукописи была воспринята за обозначение фатома (fathom).

Но могла ли произойти подобная подмена в принципе? Вполне. И вот тому убедительные, хотя и косвенные, доказательства.

В американском варианте «Дневника» Стеллера, изданном на основе белой копии С.Палласа (так называемого варианта Голдера, фотокопия которого хранится в Библиотеке Конгресса США), пишется, что наибольшая высота гор о.Беринга не превышает 1000 фатомов: *The highest mountains on this island are not over 1,000 fathoms high...* [8, с.173]. Иначе говоря, не превышает 1.8 км.

О такой же примерно высоте говорится и в знаменитом «Описании земли Камчатки» С.П.Крашенинникова, который, опираясь на данные перевода с белой копии рукописи Стеллера, написал: *Самыя высокия тамошняя горы не выше двух верст в перпендикуле* [13, с.183]. То есть, их высота около двух километров, так как одна верста равна 1.0668 км, и в одной версте содержится 500 саженой. И написал так именно потому, что в предоставленном ему переводе рукописи Стеллера высота гор острова также оценивалась в 1000 саженой. Но уже русских саженой.

На самом же деле максимальная высота гор о.Беринга достигает лишь 755 м (гора Стеллера) [14]. И единственным объяснением столь существенного завышения высоты может быть лишь подмена меры длины в белой копии. Во всяком случае, если к фигурирующим в данном случае цифрам вместо фатомов подставить футы, то высота гор будет оцениваться в 300 с небольшим метров. И тем самым станет соответствовать средней (300—350 м) высоте гор о.Беринга.

Ко всему сказанному остается добавить, что ошибка Крашенинникова вполне объяснима, ибо сам он на о.Беринга не был, а иных, кроме приве-

денных в «списке» рукописи Стеллера, данных о горах острова у него не было, да и не могло быть. Так что Крашенинников всего лишь добросовестно изложил имеющиеся в его распоряжении данные о 1000-саженной высоте островных гор. Но вот О.Фрост, один из переводчиков, редактор и автор предисловия к американскому изданию «Дневника», допустил явный промах. Ибо, имея под рукой современные карты и данные, усомниться в истинности сведений о высоте гор о.Беринга, позаимствованных из фотокопии белой рукописи «Дневника» Стеллера, особого труда не представляло.

Впрочем, не было высказано никаких сомнений по этому поводу и в отечественных переводах данного американского издания [5, 6]. Хотя редакторы этих переводов, побывав на самом острове в связи с поисками захоронения В.Беринга, имели возможность лично оценить реальную высоту тамошних гор. Не говоря уже о том, что в их распоряжении также имелись современные карты.

Но, может быть, в этом случае ошибся сам Стеллер? Вряд ли. Так как, увидев с моря горный массив Святого Ильи (Северо-Западная Америка, высота 5520 м), он однозначно заметил: *Я не помню, чтобы мне доводилось видеть более высокий хребет во всей Сибири или на Камчатке* [5, с.35]. Поэтому завысить максимальную высоту гор о.Беринга почти в три раза он никак не мог. Тем более что многие из этих гор он, что называется, «измерил собственными ногами».

Аналогичная ситуация сложилась и при описании ширины и глубины рек острова: *Из минеральных вещей, которая на объявленном острове находятся, знатнейшими могут почитаться изрядные воды. Которые в рассуждении чистоты своей и легкости весьма здоровы; и сие их действие примечено на больных с пользою и желаемым удовольствием. Что же касается до их изобилия, то нет такой долины, по которой бы не текла речка, а всех их числом более шестидесяти, между которыми есть и такие, кои шириной от 8 до 12, а глубиною в прибыльную воду до двух, а иная и до 5 саженей. Однако таких немного, но большая часть на устьях чрезмерно мелки: для того, что от крутого наклонения долин имеют они весьма быстрое течение, и близ моря разделяются на многие протоки», — пишет, например, по этому поводу Крашенинников [15, с.139], опираясь на данные всей той же белой копии рукописи Стеллера.*

Как можно видеть, ширина и особенно глубины самых крупных рек острова, в изложении Крашенинникова, достигают более чем значительных величин: 16—24 и 4—10 м соответственно. Но это абсолютно не отвечает реальности. Для сравнения, даже у такой, очень многоводной реки, как Нева, глубины в устьевой ее части редко превышают 6 м.

Однако самое интересное во всей этой ситуации с реками заключается в том, что, говоря о р.Гаванке, Крашенинников пишет: *...а в самом мысу течет речка, которая всех речек того острова*

больше. И в прибыльную воду глубиною бывает до семи футов. Она течет из великого озера, которое от устья ее версте в полуторе [15, с.185].

Точно такие же (6—7 футов, или 1.8—2.1 м) данные о глубине р.Гаванки, а также о глубинах (от 2 до 5 фатомов) остальных рек острова приводятся и в уже упомянутом американском переиздании стеллеровского дневника: *In the bend itself is the mouth of a small river, which is the largest of all on this island and high tide in six to seven feet deep at its mouth. This river leads into the largest lake on this islands and becomes ever deeper from the sea to the lake, so that without much trouble one can reach the lake one and a half versts away from the sea through the river and remain there safely since the lake is surrounded on all sides by steep cliffs like walls that protest against all winds* [8, p.178].

А интересно это тем, что, надо полагать, в рукописи при описании параметров р.Гаванки, слово feet по каким-то причинам было написано полностью. В результате чего при переписке черновика мера длины осталась первоначальной, а потому ширина и глубины этой самой многоводной реки острова и стали в приводимых описаниях в несколько раз «уступать» соответствующим параметрам гораздо меньших по водности островных рек.

И действительно, ширина русел большинства рек острова составляет лишь 1—3 м в их средних и около 5—8 м в устьевых частях, где они растекаются по пляжу. А их глубины если и достигают 1—1.5 м, то лишь в отдельных омутах да в самых нижних частях русел, подпираемых морскими кошками (таково местное название морских кос) [14, с.27].

Что же касается р.Гаванки, то ее глубина (до 1.5—2.0 м) определяется не столько ее величиной (водностью), сколько тем, что она, протекая в тундрово-болотных отложениях прибрежно-морской равнины, приобретает черты «куюла». Это весьма специфический для северо-востока Азии тип водотока. Название образовано от корякско-чукотских слов «куюл», «кууль» — глубокая вода. Подобная река обладает очень медленным течением, невысокими, но крутыми (до вертикальных и даже до отрицательных) торфяными берегами и глубоким (нередко большим его ширины) руслом. В устьевой же ее части означенные глубины наблюдаются лишь во время прилива. Это и отметил Стеллер.

Как можно видеть, в данном случае исследователи и краеведы не придали значения разнице в единицах измерения (футы для р.Гаванки и фатомы и сажени для всех остальных рек), характеризующих глубину и ширину речных русел. При этом если промах Крашенинникова еще можно объяснить незнанием подлинной ландшафтной обстановки о.Беринга, то вот невнимательность Фроста и отечественных авторов-составителей переиздания «Дневника» Стеллера такому простому объяснению не поддается. Ведь они, заведомо зная размеры и конфигурацию (узость) самого острова,

особенности его речной сети (поперечное течение рек) и, следовательно, реальную длину, ширину и глубину тамошних водотоков, вполне могли бы обратить внимание на несоответствие указанных размерных параметров островных рек реальной гидрографической обстановке.

Мы видим, что и при определении глубины и ширины рек о.Беринга также обнаруживаются явные несоответствия действительности, как и в случае с анатомическими особенностями стеллеровой коровы. И в данном случае указанные разночтения относятся не к приводимым цифрам, а к используемым мерам длины, поскольку стоит лишь к исходным цифрам подставить футы, как глубина и ширина рек о.Беринга станет полностью соответствовать действительности.

Но и это еще не последний случай подмены футов на фатомы, допущенной при интерпретации исходных материалов Стеллера. Вот что, например, пишется в американском издании «Дневника» о снегопаде, случившемся на острове в начале апреля 1742 г.: *On April, constable Roselius, assistant surgeon Betge, guard marine Sint, and a cossak left our dwelling as usual for a promysel. Toward evening such a violent storm came out of the northwest that no one could stay on his feet or see a step ahead. Moreover, the snow fell a fathom deep during the night, and we did not recall having experienced a more violent storm since our arrival on this island* [8, p.152].

О снеге в сажень глубиной, выпавшем всего за одну ночь с первого на второе апреля 1742 г., говорится и в русском переводе этого варианта переиздания «Дневника» [6, с.126]. На самом же деле таковой высоты снежный покров на острове достигает только ближе к концу зимы. Это отметил еще Стеллер: *Обилие снега здесь такое же, как и на Камчатке. На равнинах его глубина достигает полутора сажней* [5, с.118]. Причем единовременное — в течение полусуток или суток — выпадение снега мощностью около одного фута (30–35 см) происходит на острове далеко не каждый год. Так что и на этот раз составители и редакторы переизданий стеллеровского «Дневника» не сумели сопоставить приписываемые Стеллеру ошибочные сведения с реальными природными условиями острова.

Таким образом, анализ описаний некоторых природных компонентов о.Беринга, содержащихся в разных вариантах издания и переиздания «Дневника» Стеллера, вскрывает пять случаев (пятый — завышение высоты цунами 1737 г. до 30 сажней [16]) подмены одной меры длины (футов) на другую (фатомы, сажени). И потому остается лишь признать, что курьез с определением длины мужского органа морской коровы действительно произошел в результате подмены футов на фатомы, допущенной при переписи набело рукописи стеллеровского «Дневника». ■

Литература

1. *Ваксель Свен*. Вторая Камчатская экспедиция Витуса Беринга. Л.; М., 1940.
2. *Ваксмут Н.С.* Заметка о костяке [скелете] морской коровы (*Manatus Stelleri* — *Stellerus borealis*) // «Приамурские ведомости». 1899. №278.
3. *Миддендорф А.Ф.* Путешествие на север и восток Сибири. Часть II: Север и восток Сибири в естественно-историческом отношении. СПб., 2004.
4. *Савинецкий А.Б.* Вековая динамика численности морской коровы (*Hydrodamalis gigas* Zimm., 1780) в позднем голоцене // Докл. АН. 1992. Т.326. №3. С.570—572.
5. *Стеллер Г.В.* Описание плавания из Петропавловска на Камчатку и к западному побережью Америки, а также происшествий, имевших место на обратном пути // Последняя экспедиция Витуса Беринга. М., 1992. С.47—132.
6. *Стеллер Г.В.* Дневник плавания с Берингом к берегам Америки, 1741—1742. М., 1995.
7. *Domming D.P., Thomason J., Corbet D.G.* Steller's sea cow in the Aleutian islands // *Marine Mammal Science*. 2007. V.23. P.976—983.
8. *Steller G.W.* Journal of a Voyage with Bering, 1741—1742 / Ed., Intr. O.W.Frost, trans. M.A.Engel, O.W.Frost. Stanford (California), 1988.
9. Сказка тотемского купца Степана Черепанова об его пребывании на Алеутских островах в 1759—1762 гг. от 3 августа 1762 г. // Русские открытия в Тихом океане и Северной Америке в XVIII веке. М., 1948. С.113—120.
10. Die Grosse Nordische Expedition. Georg Willhelm Steller (1709—1746). Ein Lutherianer erforscht Sibirien und Alaska. Gotha, 1996.
11. *Берзин А.А.* Кашалот. М., 1971.
12. Кит. Л., 1968.
13. *Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки. С приложением рапортов, донесений и других неопубликованных материалов. М.; Л., 1949.
14. Природные ресурсы Командорских островов (запас, состояние, вопросы охраны и использования). М., 1991.
15. *Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки. Т.1. СПб.; Петропавловск-Камчатский, 1994.
16. *Чуян Г.Н., Быкасов В.Е.* К вопросу о высоте цунами 1737 года на острове Беринга // Вестник РАН. 2012. №4. С.307—312.

Гуановая республика

Р.К.Расцветаева,

доктор геолого-минералогических наук

Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН

Москва

Органические минералы — природные соединения литосферы, продукты органического-неорганического взаимодействия. Они служат биомаркерами в установлении жизни и биологической активности во внеземной материи. В литосфере содержится 99.9% углерода Земли. Из них 75% представляют собой неорганический углерод, который находится в карбонатах. Остальной углерод входит в состав 50 органических минералов. Органические молекулы образуются из атомов углерода, объединенных друг с другом, а также с водородом (и/или кислородом, азотом, хлором).

Пролог

Органические минералы гордятся тем, что они особенные и содержат частичку белковых организмов. Хотя углеродная форма не единственная форма жизни, на Земле она главная. Да что там на Земле, вся наша Вселенная состоит из базовых молекул углерода и водорода. Их нашли даже в метеорите с Марса. В пустыне Атакама телескопы ALMA обнаружили органические молекулы прямо в космической пыли. Они есть и в океане, и под ледяной коркой Энцелада — спутника Сатурна.

И все же органические минералы на Земле большая редкость. Они составляют лишь 1% от общего числа минеральных видов. Конечно, их кристаллы растут без проблем, но в искусственных условиях, а в природных образуются нечасто, особенно биогенные. Для них требуются необычные геологические условия, при которых органическое вещество достигает высоких концентраций в растворе. Их много в коре выветривания, в морских и озерных отложениях, гидротермальных жилах, каменных углях и черных сланцах, в карбонатных конкрециях, а также среди живых организмов, включая растения, грибы, лишайники, морские водоросли, животных и даже человека. И очень часто их происхождение связано с гуано — основной частью экскрементов птиц и животных. Сообщество органических минералов по праву может называться **Гуановой республикой**.

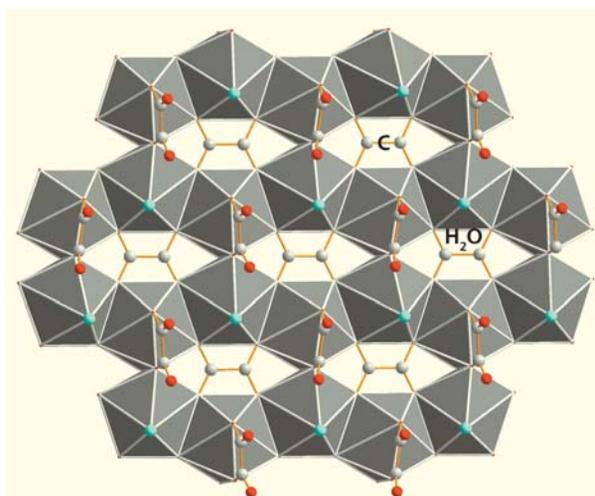
И хотя биоминералы считают себя избранными, они мирно уживаются с обычными соседями. Ведь то, что они подружился с органикой, — счастливый случай, который выпадает не каждому. Но никто от него (случая) и не застрахован.

Серия первая

Оксалатные минералы (их всего 19) — соли щавелевой кислоты. Они образуют большинство в сообществе органических минералов. Щавелевая кислота находится в листьях не только щавеля, но и петрушки, ревеня, гречихи, свеклы, шпината и многих других съедобных и несъедобных растений. И хотя из щавеля и других листьев делают салаты, салат (пусть даже ОК) и оксалат — не одно и то же.

Оксалатная молекула $[C_2O_4]^{2-}$ проста: два углерода объединились в гантель, а из ее концов торчат парочки кислорода, как антенны, которыми молекулы присоединяются к октаэдрам и прочим полиэдрам различных катионов.

Самые распространенные оксалатные минералы — кальциевые: **уэвеллит**, **уэдделлит** и **каоцит**. В них количество оксалатных молекул и крупных Ca-полиэдров одинаковое, а способ объеди-



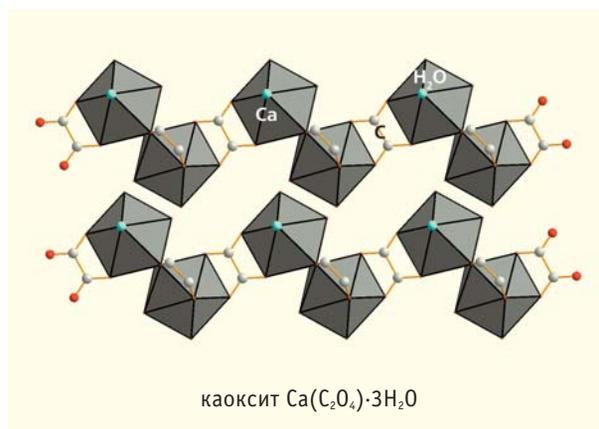
уэвеллит $Ca(C_2O_4) \cdot H_2O$

нения зависит от количества молекул воды. Эти водные минералы используются как калибровочные материалы в инструментах для термического анализа. Их мы встречаем повсюду — в осадочных породах коры выветривания и в тканях растений. Уэвеллит нашли даже в метеоритах. Но особенно уэвеллит и уэдделлит гордятся тем, что присутствуют в мочевых камнях у 70% людей (чему сами люди вовсе не рады).

Моногидратный уэвеллит наиболее устойчив из оксалатов, а при 167°C он теряет единственную молекулу и становится безводным. Сам уэвеллит имеет слоистую структуру. Са-полиэдры соединяются по ребрам в ленты, сдвинутые относительно друг друга на один полиэдр. Затем параллельные ленты объединяются ребрами полиэдров, образуя слой с шестиугольными петлями. Оксалатные молекулы поочередно меняют свою ориентацию. Половина встраивается в петли и дополнительно связывает ленты в слой, укрепляя его, а другая половина соединяет соседние слои друг с другом в единую трехмерную постройку.

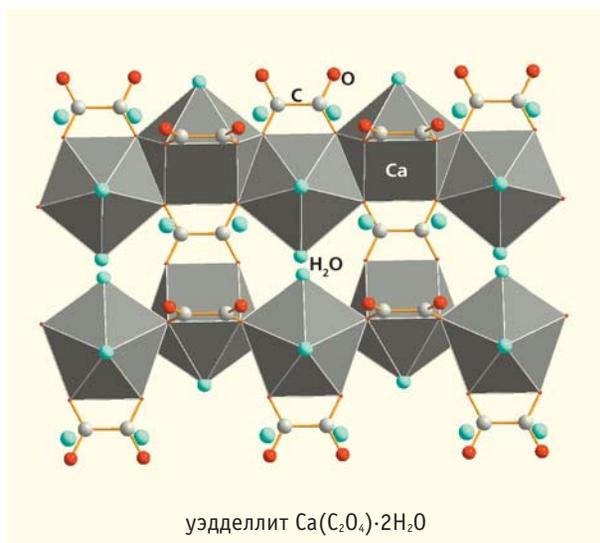
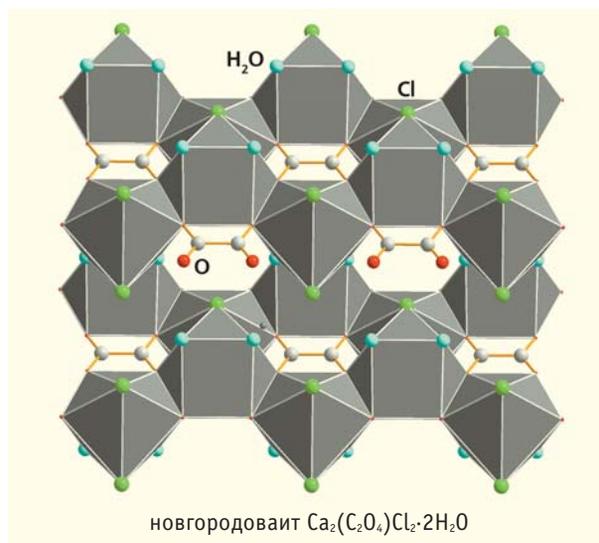
В уэдделлите содержится уже две молекулы воды, которые не только входят в кальциевые полиэдры, но и окружают их. В результате ленты из реберносвязанных кальциевых полиэдров оказались в изоляции друг от друга и соединились с окружающими лентами через оксалатные молекулы и водородные связи. Оксалатные группы в уэдделлите тоже меняют свою ориентацию. Половина из них объединяет параллельные ленты сверху и снизу, а другие — с боков. При 114°C уэдделлит переходит в уэвеллит, потому их часто видят вместе, а в мочевых камнях они образуют эпитаксиальные сростки.

В каоксите количество воды на душу оксалата увеличивается до трех. Теперь эти молекулы окружают кальции в еще большем количестве, мешая их объединению. В результате кальциевые ленты распадаются на парочки — сдвоенные кластеры.

каоксит $\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4)\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Они связываются оксалатными молекулами в гофрированные ленты, а те, в свою очередь, через другие оксалатные молекулы соединяются в слои, которые общаются друг с другом через водороды воды. Здесь объединяющая роль оксалатных групп наиболее значима. Дегидратация при 85°C также превращает каоксит в моногидрат уэвеллит.

Наиболее редкий и сложный по составу и строению оксалат — **новгородоваит**, названный Р.К.Расцветаевой и Н.В.Чукановым в честь Маргариты Ивановны Новгородовой, известного минералога, бывшего директора Минералогического музея им.А.Е.Ферсмана. Не так уж много минералов называют женским именем, тем более директоров. Минерал найден на глубине 850—900 м в соляном куполе Челкар, что в Западном Казахстане, в окружении таких знаменитых личностей, как гипс, ангидрит и галит. Компания достойная, но и сам новгородоваит хорош собой. Его агрегаты состоят из хрупких прозрачных, бесцветных кристаллов. Особенно впечатляет его внутренняя красота. В отличие от других кальциевых оксалатов, он содержит кальция в два раза больше, чем оксалата. И потому кальций окружил себя не толь-

уэдделлит $\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4)\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ новгородоваит $\text{Ca}_2(\text{C}_2\text{O}_4)\text{Cl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

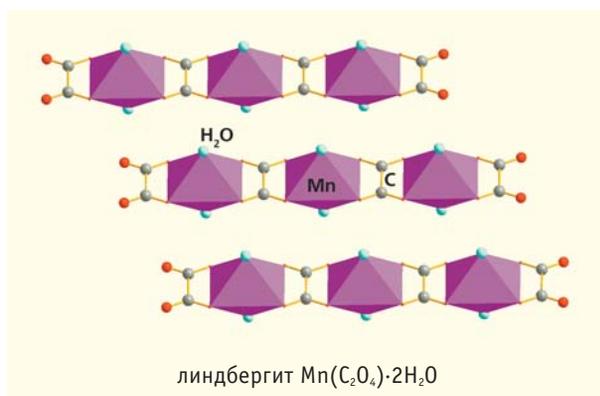
ко оксалатными молекулами и молекулами воды, но и хлором. Восьмигранники кальция объединили свои водно-хлорно-кислородные ребра в гофрированные ленты, на которые накладываются сверху и снизу такие же, но сдвинутые относительно друг друга на один полиэдр. Через водные и хлорные ребра ленты объединяются в каркасную постройку. И оксалатных молекул (хотя их и мало) хватает как на участие в объединении лент друг с другом, так и на украшение витражами окон массивного замка.

Серия вторая

Конечно, цементного материала на всех не напасешься, но это не беда, всегда найдется что-то, из чего можно строить: магний, марганец, железо постоянно под рукой. А на худой конец годятся и одновалентные ресурсы — натрий, калий, аммоний и прочие.

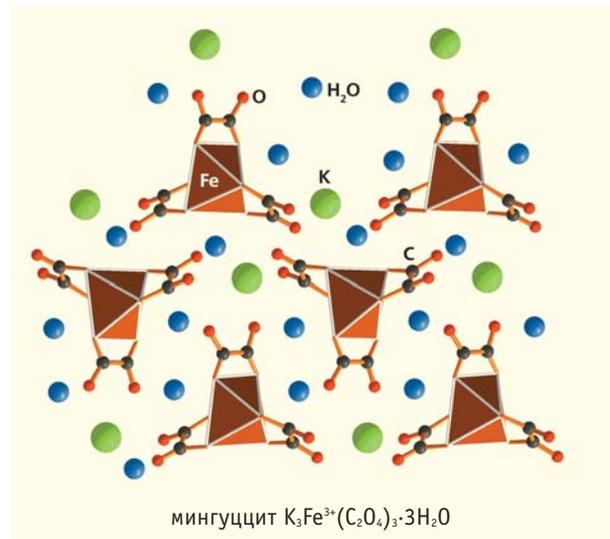
Глушинскит $Mg(C_2O_4) \cdot 2H_2O$ вырос на субстрате из магнезиевых серпентинитов и лишайников. Его впервые обнаружили в керне буровой скважины угольного месторождения Чай-Тумус на р.Лене в Якутии, в зоне вечной мерзлоты, в виде прожилков в буром угле. Назвали минерал в честь Петра Ивановича Глушинского — российского геолога, почетного полярника, специалиста в области угольной геологии, исследователя месторождений заполярной Якутии.

Хотя глушинскит структурно не изучен, можно предположить, что он похож на **линдбергит** из швейцарской шахты, где обогащенные марганцем минералы взаимодействовали с лишайниками. Назван линдбергит в честь Марии-Луизы Линдберг-Смит не потому, что у нее в два раза больше, чем у других, имен и фамилий, а потому, что она в этой шахте открыла несколько новых минералов. В структуре линдбергита октаэдры марганца объединяются оксалатными молекулами в бесконечные цепочки. Правда, две вершины в октаэдрах остаются свободными, но их занимают молекулы воды, через которые соседние цепочки и соединяются водородными связями. Так что все при деле.



Гумбольдтин $Fe^{2+}(C_2O_4) \cdot 2H_2O$ найден в месторождениях бурых углей целого ряда стран — Бразилии, Великобритании, Германии, Исландии, Италии, Канады и Чехии. Назвали его в честь знаменитого немецкого натуралиста тоже с несколькими именами — Фридриха Генриха Александра фон Гумбольдта. Минерал имеет такую же структуру, как и линдбергит, но с заменой марганцевых цепочек на железные. Несмотря на слабую водородную связь, гумбольдтин и линдбергит стабильны и разлагаются с потерей оксалат-иона только при температуре 322–330°C.

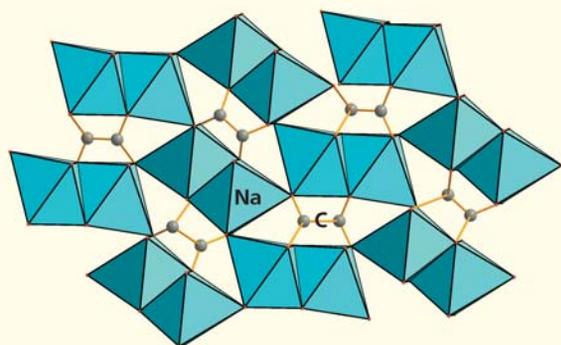
Когда микробы окислили двухвалентное железо в трехвалентное, в **мингуцците** начался переполох. Пришлось пригласить три атома калия и добавить две оксалатные молекулы для компенсации лишних положительных зарядов. Оксалатные молекулы облепили октаэдр железа, не оставив никаких шансов молекулам H_2O . Но вытесненная вода не обиделась и вместе с прибывшей на помощь еще одной молекулой объединила водо-



родными связями изолированные кластеры $[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}$ в одну большую семью. Желто-зеленые кристаллы мингуццита найдены на о.Эльба (Тоскана, Италия), и минерал назвали в честь итальянского минералога Карло Мингуцци, ушедшего из жизни в 43 года.

Когда запасы двух- и трехвалентных металлов исчерпались, в ход пошли атомы натрия. Прозрачные светло-желтые кристаллы **натроксалата** обнаружил А.П.Хомяков в пегматитовых породах горы Аллуайв, что в Ловозерском массиве Кольского п-ова. Структура минерала состоит из лент реберно-связанных октаэдров натрия, через вершины октаэдров объединяющихся в каркас, в каналах которого расположились оксалатные группы, дополнительно соединяющие ленты и тем самым укрепляющие постройку. Натроксалату есть чем гордиться. Он один из двух безводных оксалатных минералов,

Директский факкультатив

натроксалат $\text{Na}_2(\text{C}_2\text{O}_4)$

найденных в природе. Хотя и водорастворим, но абсолютно сухой — в его структуре нет молекул воды. К тому же он не нуждается (как большинство его органических собратьев) в гуано, так как по происхождению он абиогенный и родился в щелочных магмах на гидротермальной стадии, а потом подвергся выпариванию и дегидратации.

Аммониевая группа $(\text{NH}_4)^{+1}$ в форме тетраэдра заменила натрий в **оксаммите** из гуановых месторождений. Оксалатные молекулы, перемежаясь с молекулами воды, выстраиваются между рядами аммониевых тетраэдров, объединяя их в единую постройку. Вода оксаммиту необходима, как и другим подобным соединениям. Без нее они просто не вырастают, а если и вырастают, то не стабильны и поглощают воду из воздуха.

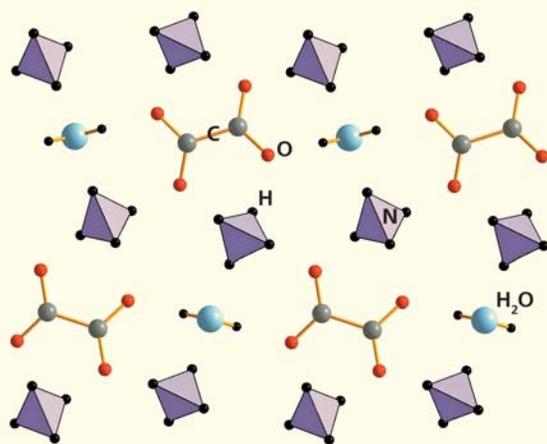
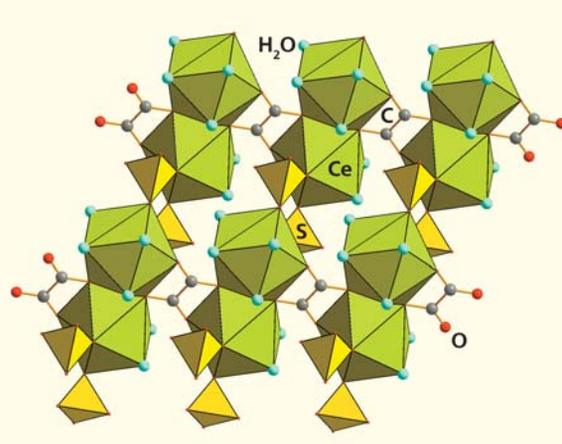
Глядя на эту ажурную постройку, трудно себе представить, что все в ней держится исключительно на водородных связях, образуемых как молекулами воды, так и NH_4 -группами. Несмотря на эфемерность строения, оксаммит оптически активен и может вращать плоскость поляризованного света, проходящего вдоль оптической оси.

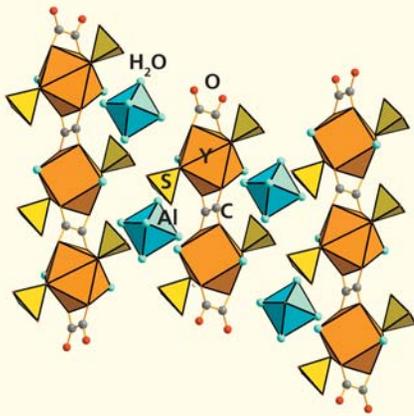
Оксаммиту изоструктурен калиевый оксалат $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Его нашел замечательный уральский

минералог Борис Валентинович Чесноков. Гуляя в березовом лесу, он обратил внимание на гриб чагу и вскрыл его. К своему удивлению, внутри он обнаружил кристаллы, которые в честь другого замечательного уральского минералог Г.Н.Вертушкова назвал вертушковитом. И хотя оксалат оказался настоящим, да и имя у него неплохое, международное минералогическое сообщество так и не признало его минералом. Не повезло бедолаге. Вот если бы дерево лежало на земле, тогда другое дело — оно принадлежало бы литосфере. А сколько еще таких же несчастных техногенного происхождения в горелых отвалах угольного бассейна близ Челябинска...

Степановит $\text{NaMgFe}^{3+}(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 8-9\text{H}_2\text{O}$ необычен тем, что в нем собрались целых три разновалентных катиона — Na^{+1} , Mg^{+2} и Fe^{+3} . Минерал, названный Глушинским в честь академика АН СССР Павла Ивановича Степанова, найден в тех же бурогольных месторождениях, что и глушинскит, — в устье р.Лены, в зоне вечной мерзлоты. Там он образует зеленые прозрачные зерна и тонкие прожилки в угле. Структура степановита неизвестна, и никто не знает, как в ней уживаются все эти многочисленные катионы.

Не только смешанно-катионные оксалаты бывают в природе, но и смешанно-анионные, в которых одновременно присутствуют органические и неорганические анионы. **Коскрениит** как раз из таких. Розовые прозрачные кристаллы редкоземельного оксалата найдены в Больших Дымных горах (штат Теннесси, США) в компании с **левинсонитом-(Y)** и **цугшунститом-(Ce)** $\text{CeAl}(\text{SO}_4)_2(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, где они образовались при выпаривании растворов, содержащих оксалатные группы. Все трое знамениты тем, что стали первыми природными редкоземельными оксалатами и первыми природными двойными солями двух кислот — органической и неорганической. Коскрениит назван в честь своего открывателя — геохимика и геолога из Колумбии Дениса

оксаммит $(\text{NH}_4)_2(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ коскрениит $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_2(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

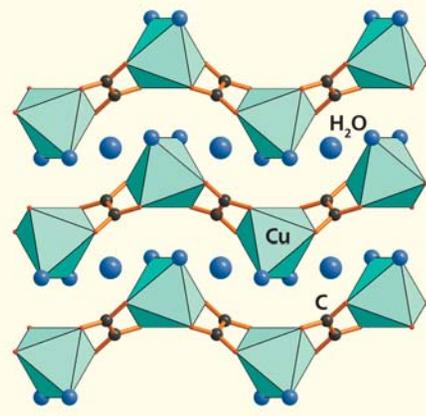
левинсонит-(Y) $YAl(SO_4)_2(C_2O_4) \cdot 12H_2O$

Коскрена. Минерал сильно гидратирован, и потому Се-полиэдры построены в основном молекулами воды. Соединяясь по ребру, они образуют парочки, которые соединяются в колонки, в одном направлении оксалатными молекулами, а в другом — двумя SO_4 -тетраэдрами. Так совместными усилиями органические и неорганические анионы формируют слои.

В структурах близких по составу и строению левинсонита и цугшунстита так много воды, что ее хватает, чтобы полностью окружить октаэдр алюминия и частично войти в компанию крупных редкоземельных полиэдров. Здесь роль органических и неорганических анионов разная. Если оксалатные молекулы объединяют редкоземельные полиэдры в цепочку, то оба серных тетраэдра просто присоединяются к ним вершиной и через Н-связи собирают все блоки в единую постройку. Конечно, SO_4 не единственные неорганические анионные группы, которые могут быть напарниками оксалатных молекул. Среди синтетических редкоземельных известны соединения с PO_4^- и CO_3 -группами, но в природе они пока не встречены.

Серия третья

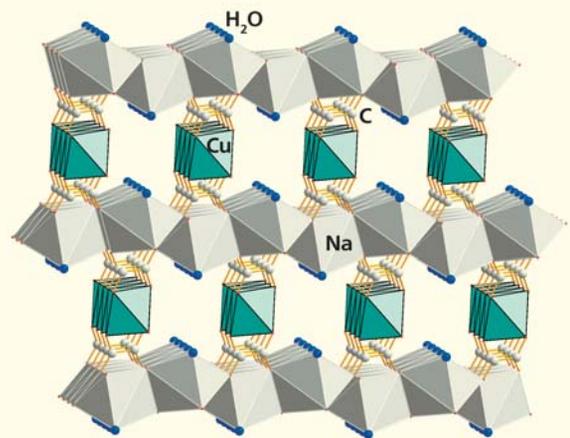
Мулуит организовал и возглавил «Оксалатную федерацию голубых». Не подумайте о чем-то таком... Просто медь окрашивает кристаллы в этот цвет, и большинство медных минералов голубые. Сам мулуит — чистых голубых кровей. Родился он в Западной Австралии на контакте гуано с сульфидами меди. Поскольку его кристаллы непригодны для структурного анализа, ученые синтезировали и изучили его аналог. И такая ситуация не только с мулуитом. Ведь медных оксалатов в природе не так много. Приходится принимать в федерацию и синтетических представителей прямо из лабораторий. Конечно, временно, пока не найдутся аналоги в природе.

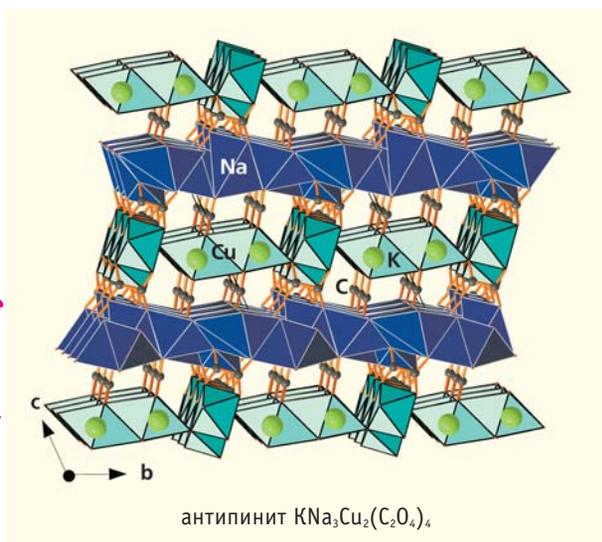
мулуит $Cu(C_2O_4) \cdot (H_2O)_3$

В самом мулуите (имеется в виду его синтетический аналог) октаэдры меди скрепляются оксалатными молекулами в зигзагообразные цепочки, а цепочки объединяются друг с другом Н-связями как свободных молекул воды, так и двух входящих в октаэдры.

Уитлейит, выросший из оксалатного раствора животного происхождения, имеет структуру, в которой гармонично уживаются медные октаэдры и натриевые семивершинники. И у каждого из них своя роль. Натрий объединил свои полиэдры в гофрированные слои. Между ними расположились цепочки из связанных ребрами медных октаэдров. А оксалатные молекулы соединили каждую цепочку с двумя слоями. Молекулы воды, входящие в натриевые полиэдры, как всегда, участвуют в объединении цепочечных и слоистых фрагментов в единое целое. Получилась изящная и довольно прочная (почти каркасная) конструкция.

А недавно из Чили прибыл девятнадцатый оксалатный минерал (и третий по счету медный). Он не стеснялся своего происхождения из пеликаньего гуано в пустыне Атакама. Расцветаева и Чуканов

уитлейит $Na_2Cu(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O$



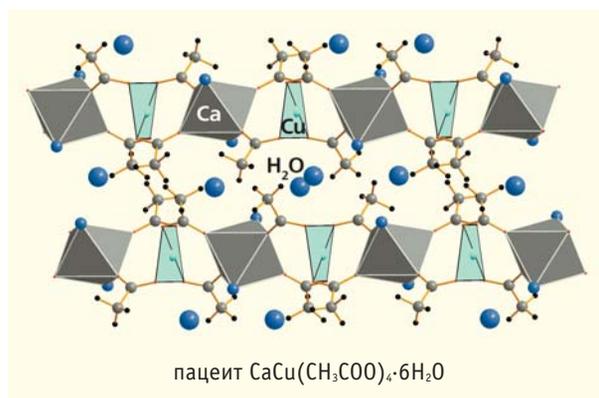
назвали его в честь замечательного человека и ученого Михаила Ювенальевича Антипина. При таком же соотношении элементов, что и в уитлейите, **антипинит** отличается более сложным составом и структурой. Наряду с натрием в нем есть и калий, который играет важную роль в структуре. Конечно, основу образуют медные октаэдры, хотя, как обычно, сильно искаженные — четыре атома кислорода находятся от меди на близком расстоянии $\sim 2 \text{ \AA}$, а два других удалены почти на 3 \AA . Они располагаются взаимно перпендикулярно и, объединившись вершинами, образуют решетку с такими большими дырками, что в них помещается калий. Полиэдры натрия, как и в уитлейите, кооперируются в слой, но более плоский. Оксалатные молекулы соединяют натриевые слои с расположенной между ними медной решеткой, для чего они вынуждены разворачиваться относительно друг друга на 90° . Но и это еще не все: удивляет то, что антипинит сухой. В нем нет ни капли (простите, ни молекулы) воды. «И как ему удалось выйти сухим из воды?» — изумлялись родственники. Ведь все оксалаты образуются из водных растворов. Конечно, есть еще один безводный минерал — натроксалат, но, как вы помните, он абиогенного происхождения и найден на Кольском п-ове, где климат достаточно влажный. А вот в пустыне вода в большом дефиците. Можно только предполагать, что первоначально вода все же была, а затем климат стал сухим и вода ушла из минерала. Во всяком случае ученые так и не смогли синтезировать антипинит в безводной среде.

Серия четвертая

Федерация карбоксилатных минералов состоит из оксалатов, формиатов, ацетатов, меллитатов и прочих народностей. Оксалатные жители составляют почти половину населения, но наимень-

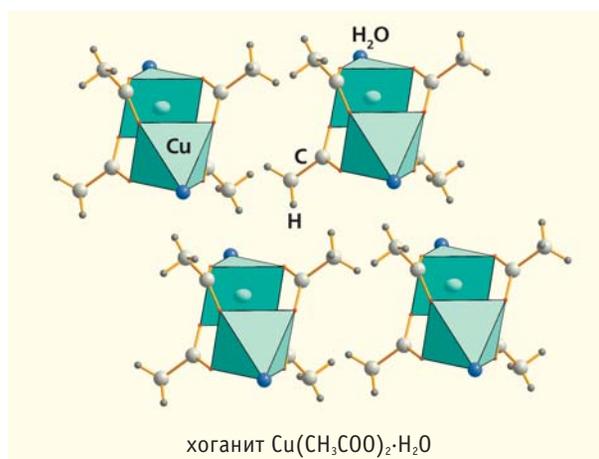
шинства интересны по-своему. Их молекулы зачастую сложнее. Они придерживаются своих традиций, живут большими семьями, для которых требуются большие ячейки.

Самые многочисленные из наименьшинств — ацетатные минералы биогенного происхождения: **пацеит**, **хоганит** и хлорацетат **кальклайцит** $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Как известно из химии, ацетаты — соли уксусной кислоты. В природе она образуется при гниении и брожении и встречается в свободном виде или в виде солей — в гниющих листьях растений, в выделениях животных (моче и желчи). Уксусная кислота, которой мы пользуемся в качестве столового уксуса и которая входит в состав лекарств (например, аспирина), играет важную роль в обмене веществ.



Содержащие медь пацеит и хоганит образуют темно-синие кристаллы в месторождении Брокен-Хилл, что в Австралии. Их соседи — знаменитые малахит и азурит. Пацеит и хоганит названы в честь Ф.Л.Паца и Г.П.Хогана, известных минералогов и коллекционеров. Кальклайцит же именуется по своему составу.

Ацетатная молекула очень похожа на оксалатную. Она состоит из такой же углеродной гантели, но с заменой на одном конце двух атомов кислорода на три атома водорода. В таком виде она мо-



жет объединять ребра соседних полиэдров только одним концом, а второй наряду с молекулами воды участвует лишь в водородных связях. Так в пачците образуются цепочки, в которых чередуются Ca-октаэдры с Cu-квадратами.

В хоганите нет кальция, а медные квадраты превратились в пятивершинники, да и вода в большом дефиците (хватает только на верхушку Cu-пятивершинника). Экономный хоганит ограничился парочками пятивершинников, объединив их четырьмя ацетатными группами. Остальное укрепление постройки поручено водородам.

Ну, а в кальклаците, наоборот, есть кальций, но нет меди. Кальций, как обычно, объединил свои крупные полиэдры в ленты. Ацетатным же молекулам еще лучше — ничего и объединять не нужно, гантели прицепились к ребрам восьмивершинников кислородным концом, а вторым участвуют в водородных связях с молекулами воды, которых много — и на кальции хватает, и между ними можно расположиться. К тому же и калий обосновался между лентами и тем самым еще больше укрепил постройку.

Формианит $\text{Ca}(\text{HCO}_2)_2$ и **дашковаит** — два формиантных минерала. Их молекула очень проста — половина оксалатной (если ее разрезать поперек гантели) с добавленным к углероду атомом

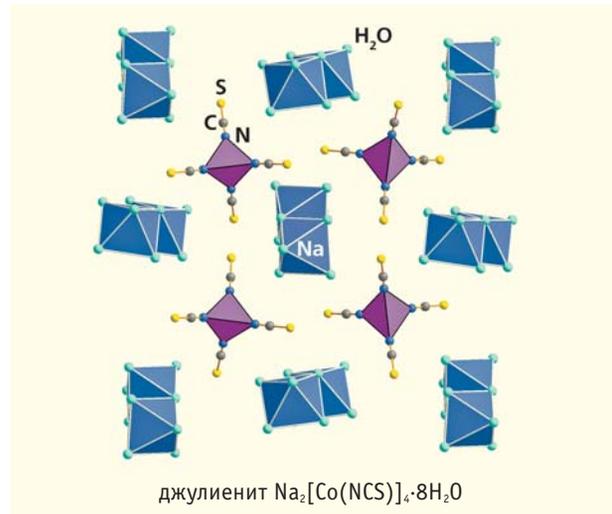


водорода. Хотя молекула формианита известна, распределение атомов в структуре не исследовано.

Белые игольчатые кристаллы дашковаита найдены в Иркутской обл. и в Бурятии. Названы они в честь замечательной женщины Екатерины Романовны Дашковой, которая была директором Санкт-Петербургской академии наук и президентом Российской академии наук. В структуре минерала один Mg окружен шестью формиантными молекулами, а второй — двумя формиантными и четырьмя водными. Его октаэдры располагаются между слоями первого магния вместе со свободными молекулами воды, которые уходят из структуры при нагревании в вакууме до 200°C. Формиантная молекула в дашковаите связывает Mg-октаэдры во всех трех направлениях, а окружающая

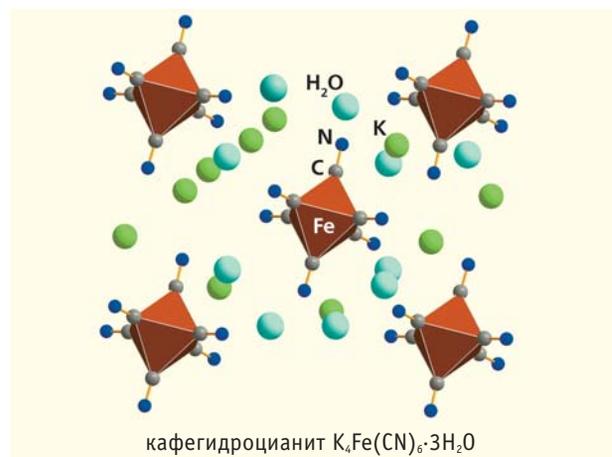
вода вовлекает атомы водорода из октаэдров в общую систему водородных связей.

Замена кислорода на азот и серу приводит к трансформации формиантной молекулы в линейную группу с углеродом в центре. В тиоцианитном **джулиените** октаэдры натрия, сочленяясь по ребрам, образуют зигзагообразные цепочки, которые изолированы входящими в их октаэдры молекулами воды. Одновременно в структуре присутствуют изолированные тетраэдры кобальта, построенные из атомов азота. К последним



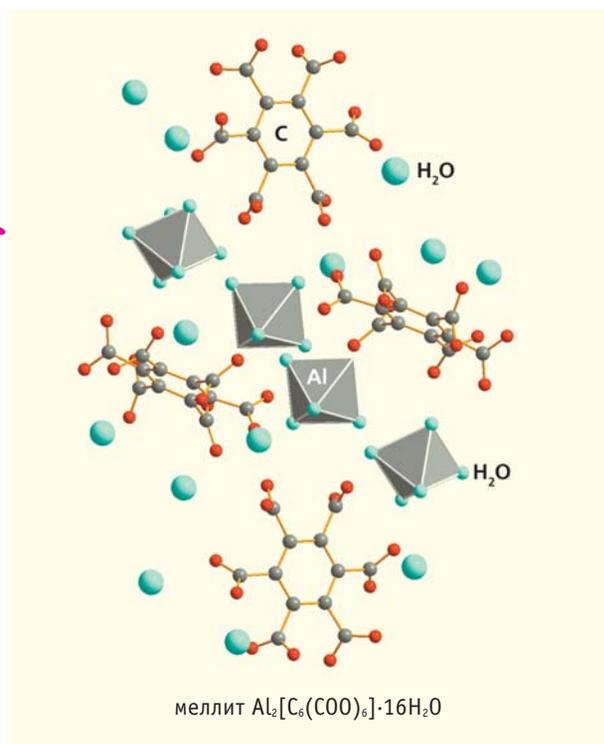
присоединены углерод и сера. Отдельные комплексы объединяются в единую постройку исключительно водородными связями, образованными молекулами воды с участием атомов серы. Структура выглядит не просто красивой, а еще и кокетливой и очень подходит минералу с нежным девичьим именем. Однако назван он в честь молодого ученого Генри Джульена, открывшего этот минерал в Катанге (Конго) и трагически погибшего во время геологической миссии в этой стране.

Кафегидроцианит, названный по составу, цианидный минерал. Ярко-желтые кристаллы его



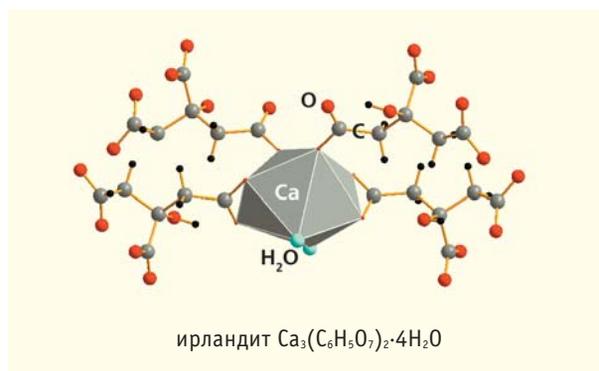
искусственного аналога раньше получали из отходов боен (т.е. из крови), и назывался он желтой кровяной солью. Это вещество применяется в химической промышленности и, несмотря на ядовитость, — в пищевой, как добавка (к счастью, небольшая!) к поваренной соли. Кластеры $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ из атомов железа в окружении углерода с отростками в виде атомов азота укладываются в шахматном порядке. Между ними располагаются калий и молекулы воды. Атомы калия нейтрализуют отрицательный заряд кластеров, а водородные связи укрепляют постройку.

Меллит (не путать с меллитом) — меллитатный минерал. Al-октаэдр, окруженный водой, полностью изолированы. А объединяются они во-



дородными связями своей собственной водой и свободной, с участием меллитатных молекул. В отличие от других молекул, они очень крупные. Их центральная часть состоит из бензольного кольца, от которого идут шесть отростков C-OO. Меллитатные молекулы укладываются в шахматном порядке и взаимно перпендикулярно.

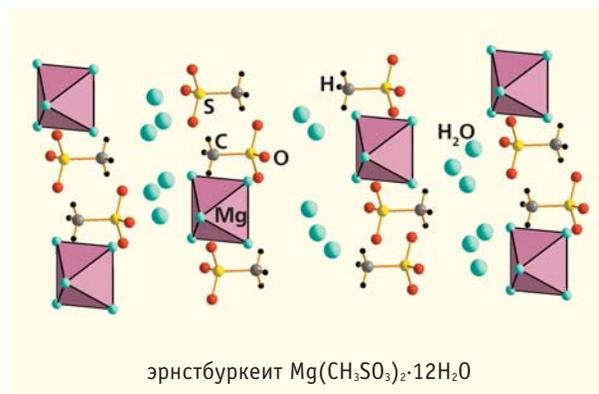
Ирландит, найденный в осадках моря Уэдделла близ Антарктиды и названный не в честь Ирландии, а в честь британского океанографа Артура Ирланда, характеризуется цитратной молекулой — солью лимонной кислоты. В природе она содержится в ягодах, плодах citrusовых (в том числе в незрелых лимонах), хвое, а еще в организме человека. И хотя в конце прошлого века в Западной Европе она считалась сильным канцерогеном, ее широко применяют в пищевой про-



мышленности, а также в медицине и косметике. Молекула очень крупная, состоит из 18 атомов и напоминает оленьи рога. Крупные Ca-восьмигранники по ребру соединяются в слои, а между ними — в зигзагообразные ленты, которые объединяются между собой и со слоями «ветвистыми рогами». Дополнительно строение укрепляется водородными связями молекул воды, входящих в свободные вершины Ca-полиэдров.

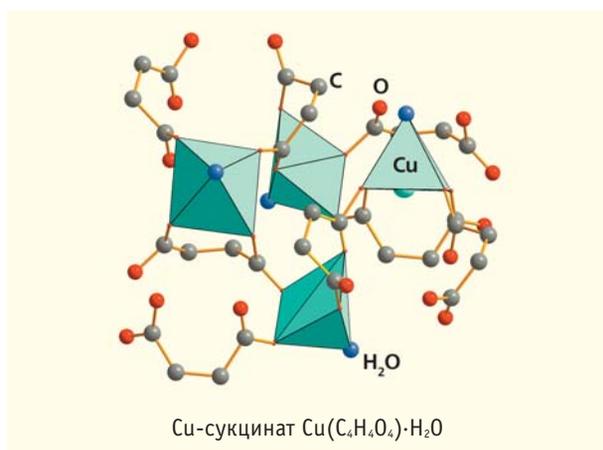
Абельсонит $\text{NiC}_{31}\text{H}_{32}\text{N}_4$ — минерал из формации Грин Ривер (штат Юта, США). Он образуется из порфириновых комплексов, которые содержатся в нефтях и битумах и входят в гемоглобин и ткани моллюсков. Его кристаллы имеют цвет от нежно-розового до пурпурного. Назвали минерал в честь физика Филиппа Абельсона — директора Института Карнеги в Вашингтоне, который был соавтором открытия элемента нептуния. И хотя структура порфириновых комплексов известна, укладка их в абельсоните пока не изучена.

Кристаллы метилсульфатного минерала **эрнстбуркеита** обнаружены в виде вкраплений во льду при глубоком бурении ледяной коры на станции Фуджи в Восточной Антарктике, на глубине 565.5 м. Минерал назван в честь Эрнста Бурке, голландского ученого, который несколько лет был председателем Комиссии по новым минералам Международной минералогической ассоциации. Наверное, он и не предполагал, что по окончании его срока пребывания на этом посту его именем назовут новый, столь экзотический минерал. Он даже



хранится при особых условиях — в холодной (-50°C) комнате в Институте низких температур в Университете Хоккайдо в Саппоро. Его метилсульфатная молекула напоминает ацетатную, но связь С-ОО заменена на S-ООО. Молекулы переслаиваются с водой и не объединяют Mg-октаэдр (изолированные шестью молекулами воды), а лишь участвуют в водородных связях, укрепляя постройку.

А вот **сукцинату меди** фатально не везло. У него нет родственников в минеральном мире. Не то чтобы их совсем не было, скорее всего, они где-то есть, но пока не заявляют о себе. И сам он родился в конце прошлого века совершенно случайно. Однажды собирательница минералов



француженка мадам Казанова нашла в шахте Кап-Гарон (что во Франции) обыкновенный азурит. Образец выглядел непрезентабельно, и она решила его помыть, причем для большего эффекта — со стиральным порошком. Детергент оказался не слабым. Он содержал янтарную кислоту, и вскоре на свет появились удивительные блестящие темно-синие кристаллики в форме кубиков. Как потом выяснилось, это был неизвестный ранее сукцинат меди... Янтарная кислота кроме янтаря содержится (хотя и в небольших количествах) во многих растениях. Она участвует в процессе клеточного дыхания организмов, применяется в химической и в пищевой промышленности.

Молекула сукцината напоминает оксалатную, если ее углеродную гантель нарастить двумя углеродами, а к каждому добавить по водороду. Структура сукцината меди — слоистая, состоящая из катионов меди в квадратных пирамидах, которые развернуты относительно друг друга и объединены сукцинатными молекулами.

И хотя кристаллы «из пробирки» оказались не хуже природных, они признаны незаконнорожденными, потому что образовались при воздействии человека на природу... Сообщество минералов их не приняло, и собственного имени у них нет. Утешает лишь то, что они не единственные изгои,

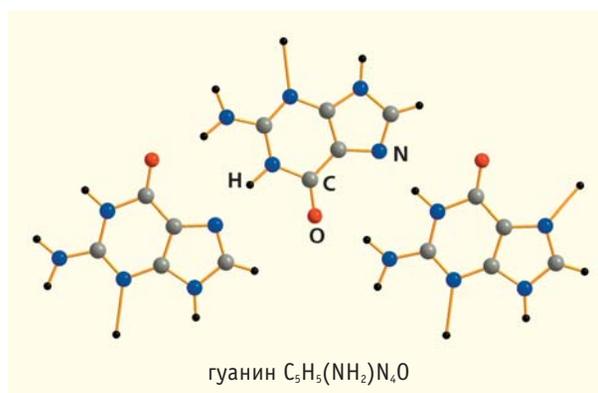
есть и другие: либо рожденные вне литосферы, как вертушковит, либо при участии антропогенной деятельности, как горелики в отвалах шахт Челябинского угольного бассейна.

А исследователи структуры Р.К.Расцветаева и Д.Ю.Пущаровский опубликовали статью о строении сукцината и в назидание потомкам назвали ее «Never wash copper minerals with detergents» — «Никогда не мойте медные минералы моющими средствами».

Серия пятая

Органические молекулярные кристаллы гордятся своей самодостаточностью. Их молекулы электронейтральны и не нуждаются ни в положительных, ни в отрицательных помощниках, таких как $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{PO}_4)^{3-}$, $(\text{CO}_3)^{2-}$ и им подобных. Правда, у них нет медных и железных октаэдров, кальциевых призм и редкоземельных антипризм. Зато, изменяя соотношение между углеродом, водородом, кислородом и азотом, они могут построить разнообразные молекулы, в которых эти элементы живут дружно, а с соседями общаются через слабые (как говорят ученые) межмолекулярные взаимодействия.

Семейство самодостаточных жителей Гуановой республики по праву возглавил **гуанин**, прибывший из Перу в виде белого кристаллического порошка. Как нетрудно догадаться, его название происходит от слова «гуано». Но это его не оскорбляет, он знает себе цену. Гуанин — биологически важное вещество, широко распространенное в животном и растительном мире. Он содержится в клетках



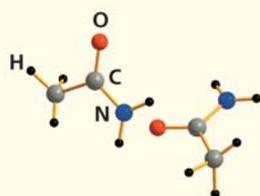
всех организмов в составе нуклеиновых кислот — ДНК и РНК. Его молекулы из двух колец (шести-членного и пятичленного) напоминают жучков с носиком СН и разными ножками — СО, NH и NH₂. Брюшко отделяется от головы гантелькой С-С. А жучки расползаются в разные стороны, кто куда.

Кладноит $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2)\text{NH}$ прибыл прямо из горящих угольных отвалов в районе Кладно (Чехия). Его фталиимидные молекулы также напоминают жучков, но с носиком NH, двумя передними

лапками СО и четырьмя задними — СН. И эти жучки тоже расползаются в разные стороны.

Бесцветные кристаллы **урицита** $C_5H_4N_4O_3$ найдены в гуано летучих мышей в Динго Донга (Западная Австралия). Названы они по своему составу. И в их пуриновой молекуле можно усмотреть жучков, но с носиком из СО. Ножки их не отличаются разнообразием и состоят тоже из СО (а некоторые из NH). Жучки организованно ползут параллельно друг другу, хотя и в противоположные стороны.

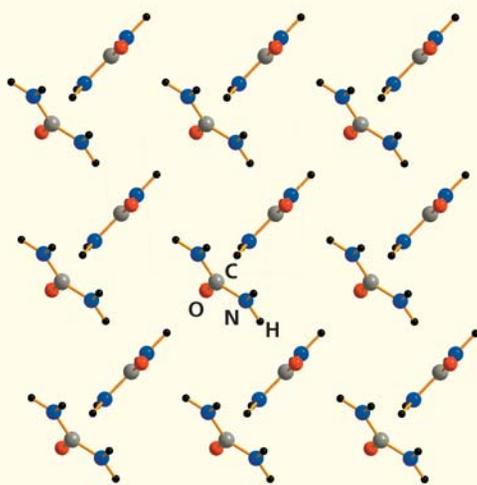
Ацетамид, прибывший из горящего террикона угольной шахты в г.Червонограде, что в Львовской обл. на Украине, получил название по составу. Да и кто из ученых согласился бы дать свое имя минералу с мышиным запахом. Хорошо хоть, что он сезонный и появляется только в сухую погоду. Его амидная молекула проста. Ацетамид заимство-



ацетамид CH_3CONH_2

вал идею оксалатной молекулы, но из четырех кислородов сохранил только один, а остальные заменил на азот с двумя водородами. На другом же конце гантели — просто три водорода. Молекулы напоминают муравьишек с усиками, которые спешат в разные стороны по своим делам.

И **мочевина** родом из гуано летучих мышей Западной Австралии. Она была известна уже в XVIII в. Назвали ее по-гречески благозвучно — уриной.

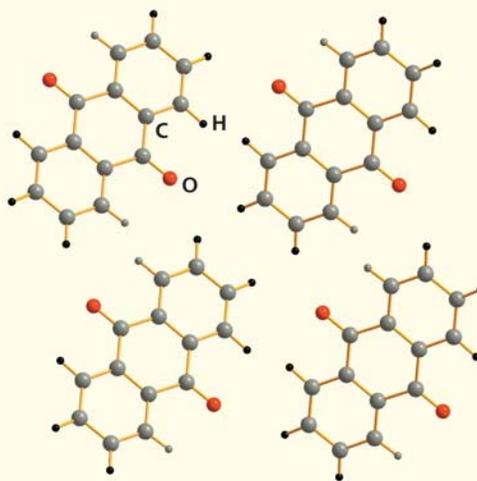


мочевина $CO(NH_2)_2$

В то время, как ионные и молекулярные соотечественники из кожи вон лезли, чтобы быть похожими на живые существа (жучков-паучков, лошадей, пусть и хромых, или даже олени рога), мочевины выстроила в линейку свои скромные запасы, расположив их перпендикулярно друг другу. Глядя на это простенькое строение, не подумаешь, что она не менее важная персона, чем гуанин, и больше всех связана с живыми организмами, являясь конечным продуктом их жизнедеятельности (как говорят ученые, продуктом метаболизма белка у млекопитающих и некоторых рыб). К тому же мочевины используются в качестве удобрения и участвуют в различных производственных процессах. Во всем мире ежегодно ее производят до 100 млн т. Да и в науке она прославилась. Немецкий химик Фридрих Вёлер получил белые кристаллы мочевины нагреванием цианата аммония, и тем самым она стала первым органическим соединением, полученным из неорганического вещества. Открытие Вёлера нанесло удар по виталистическому учению о «жизненной силе», а в честь его самого назвали кратер на Луне.

В условиях разразившегося международного кризиса некоторые молекулярные кристаллы в целях экономии ресурсов решили отказаться от азота. Пример показал **хоеллит**. Он родился в горящем угольном пласте на горе Пирамид на Шпицбергене. Его назвали в честь Адольфа Хоеля — руководителя норвежских научных экспедиций на этом архипелаге. Антрахиноновые молекулы, уложенные в шахматном порядке, состоят из трех бензольных колец с присоединенными к ним восемью атомами водорода и двумя атомами кислорода. Они радуют глаз простотой и изяществом симметричного строения.

Рефикит $C_{20}H_{32}O_2$ последовал примеру хоеллита, но пожадничал и перебрал углеродов и водоро-



хоеллит $C_{14}H_8O_2$

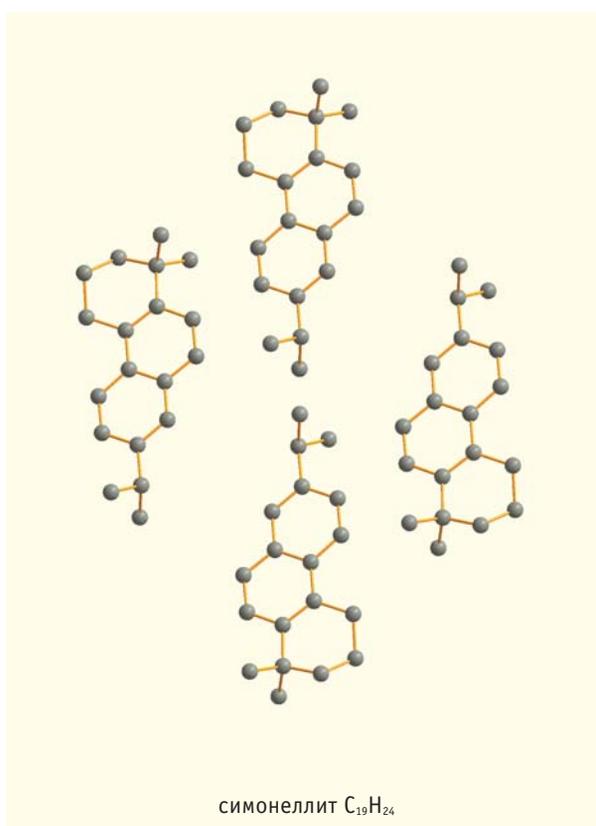
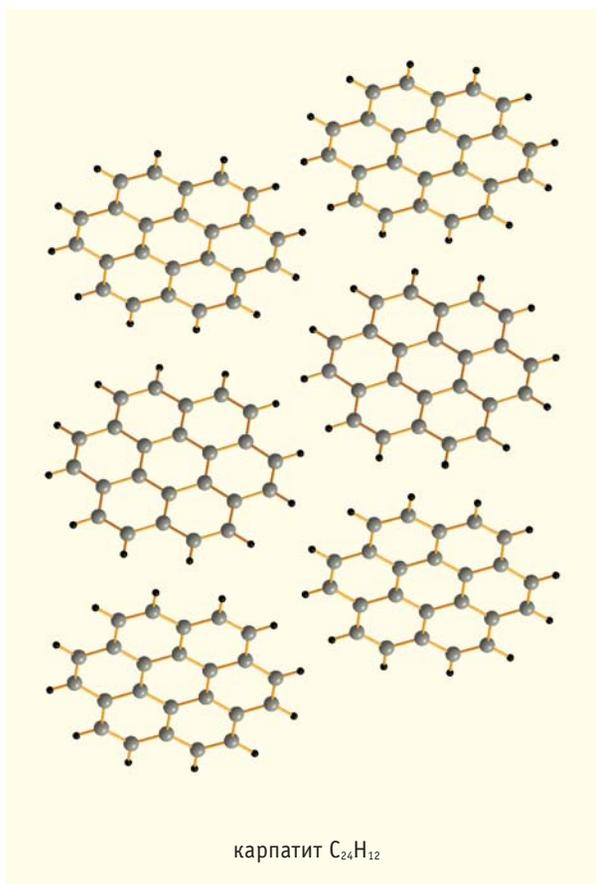
дов. В результате возникли трудности с его изучением. А **флагстаффит** $C_{10}H_{22}O_3$ из аллювиальных отложений селевых потоков горы Флагстафф, что в штате Аризона (США), проявил благоразумие и был вознагражден тем, что ученые нашли почти всю его молекулу (кроме одного кислорода и двух атомов водорода). Молекула флагстаффита никого не напоминает, но впечатляет своей длиной и витиеватостью, а с точки зрения химиков, она дальний родственник глицерина и этиленгликоля, входящего в состав антифриза.

Серия шестая

Молекулярные сепаратисты во главе с карпатитом пошли еще дальше и организовали «самопровозглашенную Гидрокарбоновую республику», которую назвали на западный манер (чтобы их приняли в Евросоюз). На самом же деле это обыкновенные углеводороды, а некоторые к тому же и канцерогенные. В самопровозглашенную республику вошли девять органических представителей минерального мира. Они самодостаточны настолько, что обходятся даже без кислорода. Все, что им нужно, — углерод и водород. Молекулы углеводородов разные по величине — от наименьших бензольных C_6H_6 до самых больших оваленовых $C_{32}H_{14}$. Они различаются не только количеством атомов углерода и водорода и их соотношением, но и конфигурацией. Живут обособленно друг от друга. Связь внутри молекул сильная (по-научному, ковалентная), а между молекулами-кланами очень слабая (вандерваальсовая).

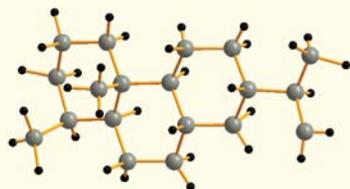
Сам **карпатит**, прибывший из Закарпатья, родился из органического вещества океанических осадков. Его история драматична. Он никак не мог понять, кто он на самом деле. Ошибочно думали, что его молекула $C_{33}H_{17}O$. Затем карпатит побывал на Чукотке с фальшивым паспортом $C_{24}H_{42}$. А тем временем в Сан-Бенито, что в Калифорнии, под именем «пендлетонит» с короненовым паспортом $C_{24}H_{12}$ объявился его двойник. Все встало на свои места, когда самозванца разоблачили, а короненовый состав присвоили карпатиту. В его структуре молекулы углерода объединяются в плоские шестерные бензольные кольца и кооперируются по семь колец в молекулу. Это позволяет сэкономить 18 атомов углерода. Кольца слегка развернуты относительно друг друга и уложены в шахматном порядке. К периферийным углеродам присоединяются 14 атомов водорода. Хотя карпатит по составу коронен, он гордится своим близким другом пиценом $C_{22}H_{14}$, в котором недавно японские ученые обнаружили сверхпроводимость с критической температурой аж 18 К.

Не все жители Гидрокарбоновой республики образуют большие кланы. Чаще всего кланы состоят из трех бензольных колец. **Симонеллит**, найденный в бурых углях в Тоскане, назван



в честь открывшего его итальянского геолога Витторио Симонелли. Минерал пользуется популярностью как биомаркер высших растений в осадочных породах. Его небольшая фенантреновая молекула дополнительно украшена пятью углеродами и десятью водородами (хотя последних пока не обнаружили).

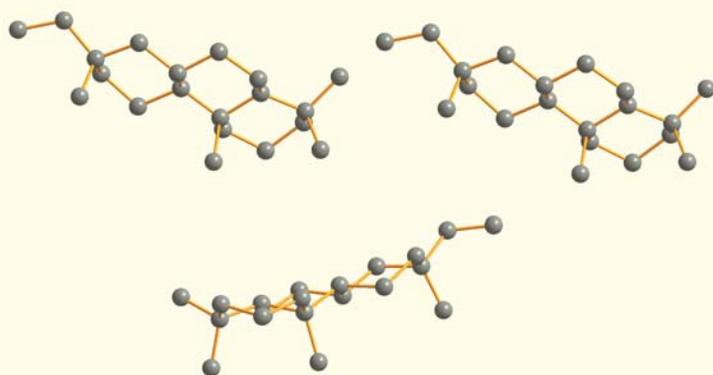
Фихтелит родом с горы Фихтель, что на юге Германии, а его родственники проживают в Собе-



фихтелит $C_{19}H_{34}$

славле (Чехия). Желтоватые кристаллы фихтелита найдены в древесине мертвого хвойного дерева. Структура с конфигурацией фенантрена из трех бензольных колец дополняется пятью углеродами (как в симонеллите), а вот водородов в ней уже на 10 больше. Правда, ученые смогли определить только 33 атома, но это не ставит под сомнение существование 34-го.

Бесцветные таблитчатые кристаллы **гартита** $C_{20}H_{34}$ нашли в бурых углях шахты в Нижней Австрии. Его молекула одинакова с фихтелитовой по числу водородов, но содержит на один углерод больше, а к трем бензольным кольцам добавляется четвертое — из пяти атомов углерода. И хотя пока не удалось обнаружить ни одного атома водорода, химики точно подсчитали, что его молекула содержит четыре группы CH_3 , девять CH_2 , четыре CH и три C .



динит $C_{20}H_{36}$

Весельчак гартит морочил всем голову еще и по другому поводу. Он появлялся то тут, то там — в Австрии, Венгрии, Германии, Италии и Чехии под разными именами — ёзен, жозен, бомбицит, хофманнит, бранчит, рентенит и крантцит. Но ученые раскусили его уловки, аннулировали фальшивые паспорта и оставили один, как это и положено законопослушному гражданину.

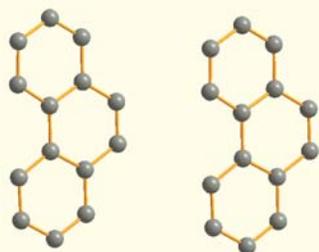
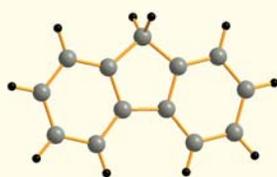
Динит родился в угольных залежах Италии. Первоначально, как нередко бывает, его формула $C_{18}H_{16}$ была определена неправильно. Молекула динита традиционно состоит из трех бензольных колец с отростками CH . И хотя здесь не найдены водороды, химики насчитывают их 36 (!). Молекулы уложены в плоскостях, перпендикулярных друг другу. Они не плоские, а с прогибом и в профиль напоминают лошадь, правда, трехногую.

Но не всем так повезло, у фенантренов молекулы гораздо меньше и состоят только из трех бензольных колечек. А **раватит**, который нашли вблизи подземного пожара на бурогольном пласте Ягнобского месторождения у бывшего кишлака Рават, что на Гиссарском хребте в Таджикистане, содержит такие молекулы. Минерал прославился скромностью своего жилища без архитектурных излишеств. Фенантрен снискал дурную славу, так как содержится в сигаретном дыму и при попадании в кровь разрушает ДНК. Он также снижает концентрацию гемоглобина в крови и может вызвать лейкоцитоз.

Идриалит $C_{22}H_{14}$ из ртутного месторождения Идриа (в Словении) и из Калифорнии состоит преимущественно из пицена, т.е. органического вещества из высших растений, которое переносится гидротермальными растворами. Идриалит вместе с карпатитом и ртутными минералами кристаллизуется при охлаждении флюидов в конце гидротермальной активности. Структура его до сих пор неизвестна, хотя при относительно небольшой молекуле она вряд ли может быть сложной. И тем более удивительно, что и структура

эвенкита $C_{24}H_{48}$ еще не расшифрована. В этом парафиновом минерале содержится 10 компонентов из 24 атомов углерода и 48 атомов водорода.

А вот **кратохвилит**, найденный в районе Кладно, побил все рекорды. В отличие от олигархов, наращивающих свои капиталы даже в условиях мирового кризиса и санкций, он решил соблюдать режим экономии. Минерал позаимствовал у раватита скромную молекулу, но пошел дальше и среднее шестичленное кольцо заменил на пятичленное, тем самым сэконо-

раутит $C_{14}H_{10}$ кратохвитит $C_{13}H_{10}$

мив строительный материал — углерод и водород. Уложил колечки перпендикулярно друг другу, и изящное строение готово.

Вместо заключения

Пример Гидрокарбоновой республики оказался заразительным. Наиболее ярые экстремисты решили обособиться и от атомов водорода. Хорошо известно, чем это закончилось. Углерод построил из собственных атомов цепочки, сетки, каркасы, сферы. Эти минералы получили свои собственные имена — алмаз, графит, карбины и фуллерены. Но из Гуановой республики их изгнали. Конечно, все они, а особенно графит и алмаз, знамениты, но их статус иной. В народе говорят «не все золото, что блестит», а ученые говорят «не все органика, что углерод», которому нужна компания. И даже кислород не всегда спасает положение. К примеру, CO_2 не считается органической моле-

кулой, а карбонаты — органическими минералами. Даже кальциевые карбонаты, порожденные организмами (раковинами моллюсков), хотя они и называются биоминералами. Тем более не может похвастаться органическим происхождением углекислый газ (CO_2), который летает, где хочет. И даже не все минералы с оксалатными молекулами считаются органическими. Взять хотя бы **царегородцевит**, **меланофлогит** или **кианоксалит**. Их каркасы образованы атомами кремния и алюминия, а оксалатные молекулы находятся внутри каркаса. Им не повезло, они безработные гастарбайтеры, так сказать, «гости столицы». А бывает, что оксалатный кристалл вполне себе органический, но это еще не значит, что он минерал. Как в случае вертушковита или погорельцев из самовозгорающихся терриконов.

Конечно, границы между органическими и неорганическими минералами могут показаться искусственными. Но есть ли в природе вообще границы между живым и неживым? Современная наука признает наличие жизни у растений. Оказывается, что они не только дышат, но и чувствуют. Их психическое состояние меняется, когда вы подходите к ним с любовью или в дурном расположении духа. А насекомоядные растения, которые вроде бы никуда не перемещаются, двигаются очень ловко, когда нужно проглотить букашку или даже какую-нибудь зазевавшуюся крысу. И хотя растения считаются неподвижными, в болотистых местах Африки есть такие, которые за год смещаются на 3–6 м. А с другой стороны, есть и животные, ведущие малоподвижный образ жизни. Вот ленивцы, например, живут на деревьях и спят по 15–20 ч в сутки, переваривая листик эвкалипта, а когда просыпаются, то двигаются со скоростью 4.5 м/ч. И неудивительно, что водоросли принимают их за растения и заводятся в их шерсти.

Как утверждают йоги, животные и растения, а также минералы могут улавливать тонкие энергетические вибрации духовного тела (пятая чакра). Японские ученые установили, что лед образует кристаллы разной формы в зависимости от характера музыки (классическая она или, скажем, тяжелый рок). В будущем можно ожидать появление новых свидетельств того, что в минералах есть жизнь и в первую очередь — в органических. ■

Нобель vs Шнобель, или механизмы магниторецепции

Э.И.Никельшпарг

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Ощущение пространства всегда было важным инструментом в познании мира. С развитием физиологии и молекулярной биологии возник вопрос о механизмах, лежащих в основе этого свойства, и в прошлом году как Нобелевская, так и Шнобелевская премии были вручены за изучение ориентации в пространстве. Один из самых загадочных факторов, влияющих на ориентацию в пространстве, — это магнитное поле. Не секрет, что мы живем в магнитном поле нашей планеты. И хотя оно для нас невидимо, многие живые существа научились его ощущать и использовать для ориентации в пространстве. Способность воспринимать магнитное поле называется магниторецепцией.

Какие организмы чувствуют магнитное поле?

В нашей семье этим вопросом задался мой младший брат Матвей еще два года назад. Бегая по саду с компасом, он обнаружил, что мухи садятся исключительно по направлению линий магнитного поля: либо «север—юг», либо «запад—восток» (рис.1). Только около железной калитки они меняли положение на северо-запад, но и стрелка компаса тоже повернулась не на север, а на северо-запад. Так что основная причина положения мухи вовсе не движение «за солнцем», а магнитные поля. Так Матвей заинтересовал нас всех явлением магниторецепции. Покопавшись в статьях, я обнаружила, что у мух есть некий белок, который называется криптохром. Именно он

© Никельшпарг Э.И., 2015



Рис.1. Мухи ориентируются по линиям магнитного поля: либо строго «север—юг», либо «запад—восток».

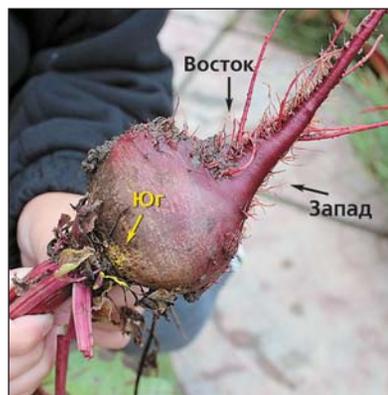


Рис.2. Ориентация боковых корней свеклы преимущественно «запад—восток» не зависит от положения грядки и соседних корнеплодов.

позволяет им ориентироваться по магнитному полю в условиях освещения синим или ультрафиолетовым светом [1]. С тех пор мы и собираем интересные факты, связанные с криптохромом.

Еще в 1960-х годах А.В.Крылов заметил, что растения тоже реагируют на магнитное поле: под его действием изгибаются их стебли и корни [2]. Этот эффект, который ученый назвал «магнитотропизмом», мы с братом решили пронаблюдать воочию. Для начала рассадили свеклу на трех грядках: первая была вытянута с запада на восток,

вторая — с севера на юг, на контрольной грядке растения росли хаотично. Когда корнеплоды подросли, мы сделали метку «ЮГ» желтой краской. После сбора урожая выяснилось, что во всех трех вариантах основная масса боковых корней образуется в направлении запад—восток (рис.2). Более того, на грядке «юг—север» выросли самые крупные экземпляры. Мы думаем, это связано с оптимальной ориентацией корней, когда они не мешают друг другу. Данное свойство было бы хорошо использовать в сельском хозяйстве! Убедившись, что все работает, мы приступили к поиску других организмов, у которых может быть магниторецепция. Первыми в голову пришли птицы — ведь перелетным птицам ориентирование по магнитным линиям необходимо как никому другому.

Красивое доказательство магниторецепторной роли криптохромов получили в опытах на птицах*

* Детальное исследование «эффекта компаса» у птиц показало, что это квантово-механический процесс [4]. Подробнее об этом см. статью на портале Биомолекула: Чузунов А. Зарождение квантовой биологии (biomolecula.ru/content/889). — *Примеч. ред.*

ученые во главе с Х.Моритценом [3]. Исследователи взяли две группы птиц: оседлых вьюрков — зebra-вых амадин (*Taeniopygia guttata*) — и ночных мигрирующих садовых славок (*Sylvia borin*). Птиц содержали в округлых деревянных клетках. Миграционная активность садовой славки была настолько велика, что проявлялась даже в лабораторных условиях! Все перелетные птицы ориентировались и пытались двигаться на юго-восток, причем только ночью, тогда как оседлые птицы хаотично перемещались по клетке (рис.3а).

Как и ожидалось, «виновником преступления» оказался криптохром. Анализ экспрессии его матричной РНК показал, что у обеих групп птиц криптохром экспрессировался в дневное время, что связано с его циркадной функцией [1], но только у ночных мигрирующих птиц — садовой славки — экспрессия криптохрома была особенно высока в ночное время (рис.3б, в).

Нынешний год знаменателен тем, что и Нобелевскую, и Шнобелевскую премию дали за одну и ту же проблему — ориентацию в пространстве. И если нобелевские лауреаты открыли внутрен-

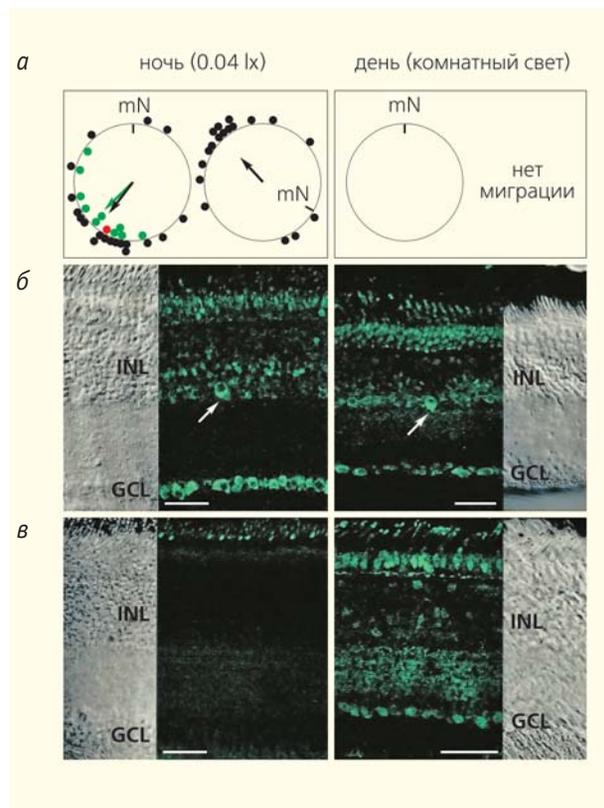


Рис.3. Ориентация птиц в клетке в ночное и дневное время (а), а так же экспрессия криптохрома перелетных (б) и оседлых (в) птиц в разное время суток [3]. Точками показано положение птиц в пространстве. Зелеными точками отмечены экземпляры, у которых была исследована экспрессия мРНК криптохрома. Черными стрелками обозначено преимущественное направление движения птиц; mN — магнитный север. Иммуногистохимический анализ CRY1 в ночное время (б, слева) и в дневное время (в центре) садовых славок (фото справа сверху). Аналогичное исследование проведено для зebra-вой амадины (фото справа внизу): криптохромы экспрессируются во внутреннем ретиальном эпителии, в слое ганглиозных клеток (GCL), и внутреннем ядерном слое (INL). Они передают сигнал из сетчатки в средний мозг.

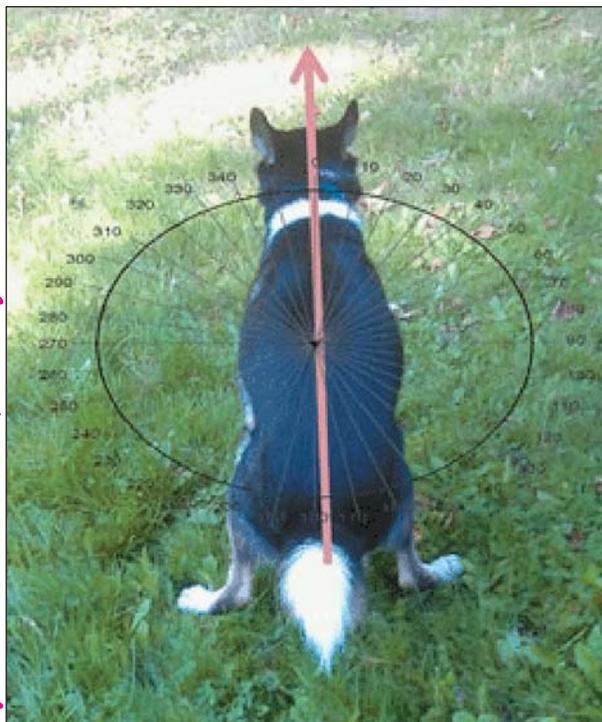


Рис.4. Ориентация собаки во время дефекации [5].

нюю карту*, то нобелевских лауреатов больше интересовал внутренний компас [5]! Группа чешских биологов определила, что собаки во время

* О Нобелевской премии 2014 г. подробнее см.: Балабан П.М. По физиологии или медицине — Дж.О'Киф, М.-Б.Мозер и Э.Мозер // Природа. 2015. №1. С.89—91.

дефекации располагаются в соответствии с линиями земного магнитного поля (рис.4). Вполне возможно, что у собак экспрессируется криптохром, обеспечивающий магниторецепцию.

Могут ли люди ощущать магнитные поля — до сих пор вопрос открытый... Однако сам по себе человеческий криптохром чувствителен к магнитному полю, что было показано на мушках дрозофилах. С помощью методов генной инженерии были созданы дрозофилы, которым заменили собственный ген криптохрома на человеческий. Как показал опыт, криптохром человека в мушке работал ничуть не хуже родного [6].

Белок, который открыли биоинформатики

Еще в 1881 г. Дарвин в опытах с фототропизмом у канареечной травы (*Pbalaris*) показал, что экран из раствора бихромата калия, не пропускающий синий свет, полностью снимает эффект фототропизма. Со временем выяснилось, что от синего света (длина волны 400—500 нм) зависят и многие другие процессы. Однако выделить рецептор синего света у растений долгое время не удавалось, поэтому гипотетический фоторецептор был назван криптохром (от греч. κρυπτο — скрытый и χρομα — цвет).

Впервые завесу тайны криптохрома приоткрыли американские ученые, выделив его РНК из растения *Arabidopsis thaliana* [7]. Они отсекалировали кДНК гена NY4 дикого типа и нескольких мутантов, не обладающих реакцией на синий свет, и сравнили его последовательность с геном, кодирующим белок фотолиазу (рис.5,а). Выбор данного

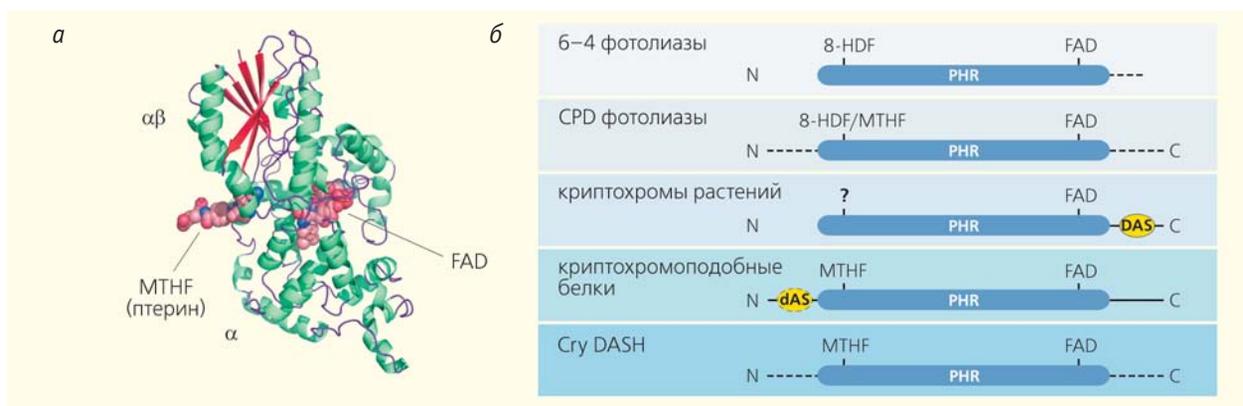


Рис.5. Строение фотолиазы *Escherichia coli* (а) и схематичное изображение белковых доменов разных представителей криптохром/фотолиазного семейства (б) [8]. Фотолиаза — это фермент, способный к фотоиндуцированной репарации ДНК. Существует два типа фотолиаз: CPD (репарируют циклобутановые пиримидиновые димеры) и 6-4 (репарируют пиримидиновые аддукты). Оба фермента состоят из двух субъединиц. В α -субъединице расположен флавиновый кофактор (FAD), между α - и α/β -субъединицами — MTHF (метилтетрагидрофолат, или птерин) или 8-HDF (гидрокси-5-деазофлавин); α -спирали белка обозначены зеленым цветом, β -структуры — оранжевым, а межспиральные петли — фиолетовым. N — N-конец полипептида; C — C-конец; DAS — консервативный мотив из определенной последовательности аминокислот; dAS — это укороченный DAS; FAD — кофермент флавинадениндуклеотид; PHR — домен (от англ. photoliasa homology related), который выполняет фотосенсорную функцию и имеет высокую степень гомологии с фотолиазами.

белка был не случайным. Фототиаза присутствует у многих прокариот и некоторых эукариот, за исключением плацентарных млекопитающих. Она способна исправлять серьезные повреждения ДНК — пиримидиновые димеры и аддукты, возникающие под действием ультрафиолета. Другими словами, фототиаза — это белок, осуществляющий фотоиндуцированную репарацию ДНК. Но самое главное, что для активации этого фермента необходим синий или фиолетовый свет.

Оказалось, что криптохром и фототиаза крайне похожи! Создав такой прекрасный белок, обладающий способностью фотоиндуцированной репарации ДНК, эволюция пошла дальше и создала криптохром. От фототиазы криптохром унаследовал способность улавливать синий свет и связываться с ДНК, что позволяет ему работать в качестве транскрипционного фактора.

Спустя несколько лет в результате многочисленных биоинформатических исследований криптохром был обнаружен и во многих других организмах. Открытие криптохрома DASH (*Drosophila*, *Arabidopsis*, *Synechococcus*, *Homo*) доказало, что появление криптохрома предшествовало разделению организмов на эукариот и прокариот [9]. По сей день эволюционное древо видоизменяется и дополняется новыми фактами (рис. 5, б и в). Считается, что все многообразие семейства криптохромов и фототиаз произошло в результате всего четырех генных дупликаций. Прародителями современных фототиаз и криптохромов считаются CPD-фототиазы. В результате первой дупликации они разделились на два типа (прототипы I и II группы фототиаз). Вторая дупликация привела к появлению современных CPD фототиаз первого типа и группы (6-4) фототиаз и криптохромов. Третья дупликация выделила криптохромы растений в отдельную группу. В результате последней генной дупликации из оставшейся группы сформировались (6-4) фототиазы и криптохромы животных [10].

Как работает криптохром? По строению он (рис. 7) очень похож на фототиазу (см. рис. 5, а). Он также состоит из двух доменов, между которыми располагается птерин. В α-доме есть полость, в которой расположен кофактор — флавин

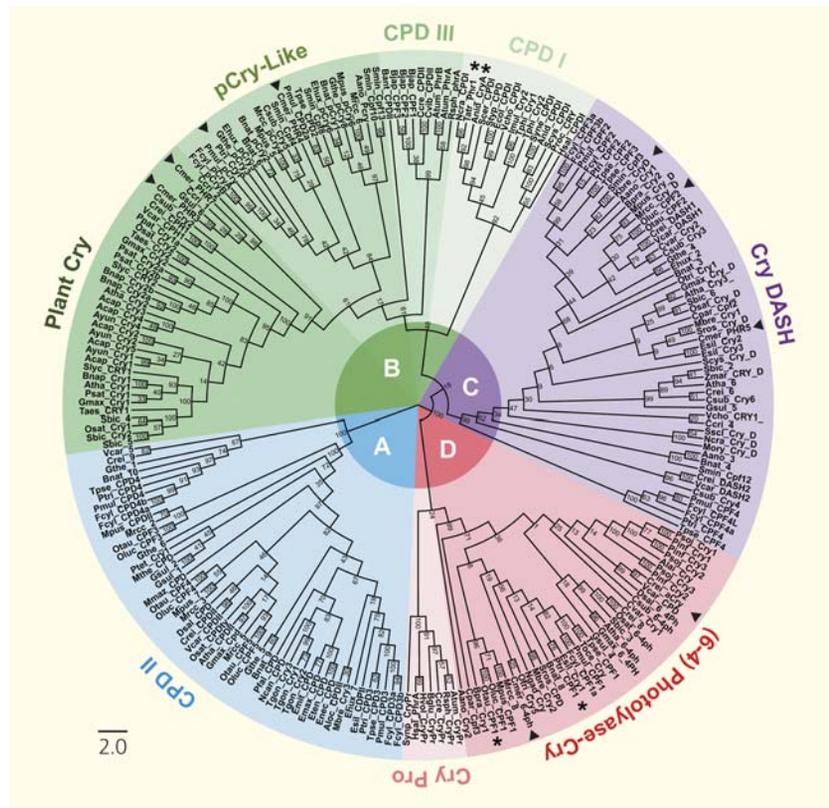


Рис. 6. Филогенетическое древо семейства криптохромов и фототиаз [8]. В семействе можно выделить четыре суперкласса. Первый включает фототиазы II типа (CPD II), второй — большую группу из криптохромов растений (Plant Cry), криптохромоподобных белков (pCry-likes) и фототиаз I и III типов (CPD I и CPD III), которые отличаются только хромофором. В третий суперкласс входит криптохром *Drosophila*, *Arabidopsis*, *Synechococcus*, *Homo* (Cry DASH), в четвертый — фототиазы и криптохромы животных и прокариот (6-4 Photolyase-Cry и Cry Pro).

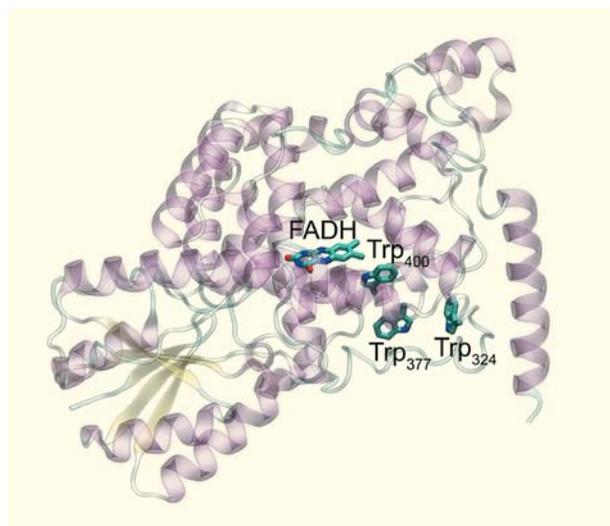


Рис. 7. Строение криптохрома [12]. Фиолетовым цветом показаны α-спирали белка, бледно-желтым — β-структуры. Флавиновый кофактор (FADH) и триада триптофанов (Trp₄₀₀, Trp₃₇₇ и Trp₃₂₄) выделены синим цветом.

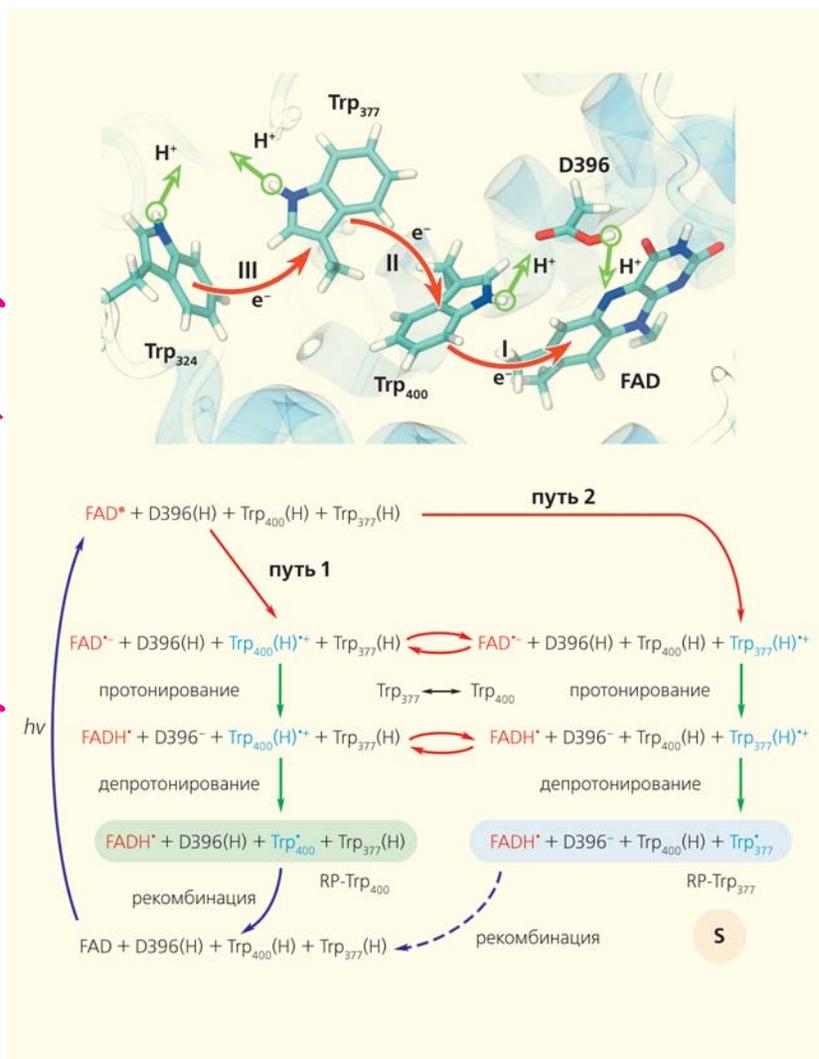


Рис.8. Механизм магниторецепции, опосредованный криптохромом [13, 14]. Поглощение света. Синий свет поглощается птерином (не показан). Он передает возбуждение на молекулу флавина (FAD) посредством резонансного переноса энергии, так как два кофактора располагаются очень близко. Электронный (красный цвет) и протонный (зеленый) транспорт в криптохроме. В результате передача энергии на флавин, он активируется (FAD*). Возбужденный флавин — сильный акцептор электронов. Он может получить электрон от ближайшего триптофана (Trp₄₀₀ или Trp₃₇₇). В зависимости от того, какой триптофан передал электрон на FAD*, фотореакция идет по механизму №1 или №2 (между двумя путями возможно переключение). Для простоты рассмотрим перенос электрона по пути №1. Образование радикальной пары. Итак, флавин получил электрон от Trp₄₀₀. Таким образом, образовалась первая ионная радикальная пара FAD^{•-} + Trp₄₀₀(H)^{•+}. Положительно заряженный Trp₄₀₀ приводит в движение следующий остаток — Trp₃₇₇, который поворачивается, что облегчает транспорт электронов к Trp₄₀₀. Рядом с флавином располагается аспарагиновая кислота (D396). Она донирует свой протон на отрицательно заряженный FAD^{•-}, что приводит к образованию устойчивой нейтральной радикальной пары FADH^{•+} + Trp₄₀₀(H)^{•+}. В итоге радикальная пара может вернуться в исходное состояние. Однако в данном случае она очень стабильна, и времени жизни (>10 мс) достаточно, чтобы уловить направление магнитного поля. Это и есть сигнальная форма криптохрома, которая передает сигнал клетке о положении магнитных линий. На схеме использованы стандартные обозначения: hν — квант света; X* — возбужденное состояние молекулы X; X[•] — радикал молекулы X; X⁻/X⁺ — анион/катион; X(H) — протонированная форма.

(FADH). В непосредственной близости от него находится сайт связывания ДНК, в котором имеется множество положительно заряженных аминокислот [11].

Главный элемент в строении криптохрома — так называемая триада триптофанов (Trp₄₀₀, Trp₃₇₇ и Trp₃₂₄), т.е. три консервативных остатка аминокислоты триптофана вблизи флавина [12]. Под действием синего света осуществляется перераспределение зарядов между триптофанами и флавином, что приводит к образованию устойчивой радикальной пары, чувствительной к магнитному полю! Именно в этом и заключается механизм магниторецепции (рис. 8) [13, 14].

«Если предположить, что все отмеченные эффекты реальны, то возникает мысль, что магнитное чувство живых организмов вовсе не обязательно является эволюционным прорывом. Скорее наоборот, это просто свойство одной молекулы — криптохрома, которое случайно было выбрано птицами для осуществления магнитной рецепции» — к такому выводу пришли немецкие исследователи Х.Моритцен и М.Лидвогель [15, р.156].

Такие разные гипотезы

Магниторецепция изучается уже много лет, однако споры о ее природе не заканчиваются. На сегодня существует несколько гипотез механизма магниторецепции разных организмов.

Одна из них предполагает наличие кристаллов магнетита (Fe₃O₄) в различных органах и тканях*. Первым организмом,

* О поисках кристаллов магнетита в млекопитающих организмах, а также об их потенциальном предназначении можно прочесть в научно-популярной статье участника конкурса «Био/мол/текст — 2012» И.Искусных «Роль биогенных нанокристаллов в работе биологической «машины времени»» (biomolecula.ru/content/1125).

в котором были обнаружены такие кристаллы — панцирный моллюск, или хитон (*Polyplacophora*). Позже был открыт другой любопытный организм, в котором вполне различимы магнитные кристаллы — это магнетобактерии типа *Proteobacteria*, появившиеся на Земле более 1.5 млрд лет назад. У этих бактерий есть специальные органеллы — магнетосомы, в которых образуются ферромагнитные наночастицы из магнетита или грейгита (Fe_3S_4) [16]. Есть версия, что «орган магниторецепции» сокрыт в вестибулярном аппарате [17]. Наконец, фотохимическая гипотеза, которая свидетельствует в пользу существования белка в сетчатке глаза, способного к фотопревращениям и чувствительного к магнитному полю.

Каждая из этих гипотез имеет свои преимущества и недостатки. Пока ни одна из них не дает исчерпывающего ответа на все вопросы, связанные с магниторецепцией. Но, на мой взгляд, высокоорганизованные формы жизни требуют более изящного решения проблемы магниторецепции, нежели механическое давление кристаллов. К тому же эволюция редко выбрасывает что-то хорошее, и возникший при зарождении жизни белок передавался все более и более высокоорганизованным формам, видоизменяясь и приобретая новые функции. Независимо от того, какая из гипотез окажется верной, я надеюсь, что исследования магниторецепции заслужат свою Нобелевскую премию! ■

Литература

1. *Zhu H., Sauman I., Yuan Q. et al.* Cryptochromes define a novel circadian clock mechanism in monarch butterflies that may underlie sun compass navigation // *PLoS Biol.* 2008. V.6. №1. P.0138—0155. doi:10.1371/journal.pbio.0060004
2. *Крылов А.В., Тараканова Г.А.* Явление магнитотропизма у растений и его природа // *Физиология растений.* 1960. Т.7. Вып. 2. С.191—197.
3. *Mouritsen H., Janssen-Bienhold U., Liedvogel M. et al.* Cryptochromes and neuronal-activity markers colocalize in the retina of migratory birds during magnetic orientation // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2004. V.101. №39. P.14294—14399. doi: 10.1073/pnas.0405968101
4. *Ball P.* Physics of life: The dawn of quantum biology // *Nature.* 2011. V.474. P.272—274. doi:10.1038/474272a
5. *Hart H., Nováková P., Malkemper E.P. et al.* Dogs are sensitive to small variations of the Earth's magnetic field // *Front. Zool.* 2013. V.10. P.80—91. doi:10.1186/1742-9994-10-80
6. *Foley L.E., Gegear R.J., Reppert S.M.* Human cryptochrome exhibits light-dependent magnetosensitivity // *Nature Communications.* 2011. V.2. Article number: 356. doi:10.1038/ncomms1364
7. *Abmad M., Cashmore A.R.* HY4 gene of *A.thaliana* encodes a protein with characteristics of a blue-light photoreceptor // *Nature.* 1993. V.366. P.162—166. doi:10.1038/366162a0
8. *Fortunato A.E., Annunziata R., Jaubert M. et al.* Dealing with light: The widespread and multitasking cryptochrome/photolyase family in photosynthetic organisms // *J. Plant Physiol.* 2015. V.172. P.42—54. doi:10.1016/j.jplph.2014.06.011
9. *Brudler R., Hitomi K., Daiyasu H. et al.* Identification of a new cryptochrome class. Structure, function, and evolution // *Mol. Cell.* 2003. V.11. P.59—67.
10. *Lin C., Todo T.* The cryptochromes // *Genome Biol.* 2005. V.6. P.220. doi:10.1186/gb-2005-6-5-220
11. *Huang Y., Baxter R., Smith B.S. et al.* Crystal structure of cryptochrome 3 from *Arabidopsis thaliana* and its implications for photolyase activity // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2006. V.103. P.17701—17706. doi:10.1073/pnas.0608554103
12. *Solov'yov I.A., Schulten K.* Understanding how birds navigate // *SPIE Newsroom.* 2009. P.9—11. doi:10.1117/2.1200909.1804
13. *Solov'yov I.A., Domratcheva T., Schulten K.* Separation of photo-induced radical pair in cryptochrome to a functionally critical distance. *Sci. Rep.* 2014. V.4. Article number 3845. doi: 10.1038/srep03845
14. *Solov'yov I.A., Domratcheva T., Moughal A.R., Schulten K.* Decrypting cryptochrome: revealing the molecular identity of the photoactivation reaction // *J. Am. Chem. Soc.* 2012. V.134. №43. P.18046—18052. doi:10.1021/ja3074819
15. *Liedvogel M., Mouritsen H.* Cryptochromes—a potential magnetoreceptor: what do we know and what do we want to know? // *J. R. Soc. Interface.* 2010. V.7. P.S147—S162. doi:10.1098/rsif.2009.0411.focus
16. *Grunberg K., Muller E.-C., Otto A. et al.* Biochemical and Proteomic Analysis of the Magnetosome Membrane in *Magnetospirillum gryphiswaldense* Appl. Environ. Microbiol. 2004. V.70. P.1040—1050. doi:10.1128/AEM.70.2.1040-1050.2004
17. *Кишкинев Д.А., Чернецов Н.С.* Магниторецепторные системы у птиц: обзор современных исследований // *Журнал общей биологии.* 2014. №75. С.104—123.

щество — сильнодействующий наркотик, вызывающий чувство беззаботности, счастья и эйфории. Наркотик этот не греческий, а привозной — египетский. Всезнающий Гомер рассказывает, что Елена «обладала тем соком чудесным» поскольку

*Щедро в Египте ее Полидамна, супруга Фоона,
Им наделила; земля там богатообильная много
Злаков рождает и добрых, целебных, и злых,
ядовитых;*

Каждый в народе там врач...

Какой древнейший наркотик описывает Гомер? Ясно, что речь идет о растительной настойке. Скорее всего, на эту роль может претендовать настой сока опиумного мака. В клинописных текстах древних шумеров, живших на территории современного Ирака 6 тыс. лет назад, уже даются рецепты получения из головок мака сильного наркотика, который вызывает потерю памяти, ощущение нереальности происходящего, эйфорию, а затем крепкий сон. Шумеры называли его «гиль», что означает «радость». Из Двуречья опиум попал в Персию и Египет. Как сообщает Гомер, именно египетские добрые знакомые снабдили Елену «непентесом» — настойкой мака, позволяющей забыть горе и попасть в мир иллюзорного счастья.

Для одуревших от опиума гостей, а главное, для мужа Прекрасная Елена рассказывает другую историю — о том, как она героически спасла от гибели Одиссея, пробравшегося в Трою в виде лазутчика:

*Одиссей, тело свое беспощадно иссекши бичом,
Рубищем бедным покрывши плеча, как невольник
вошел*

*В полный сияющих улиц народа враждебного город.
Так посреди он троян укрывался; без смысла,
как дети,*

*Были они; я одна догадалась, кто он; вопросы
Стала ему предлагать я — он хитро от них
уклонился;*

*Но когда и омывши его, и натерши елеем,
Платье на плечи ему возложила я с клятвой
великой:*

*Тайны его никому не открыть в Илионе враждебном,
Все мне о замысле хитром ахеян тогда рассказал он.*

Выходит, Елена заранее знала, что греки хотят оставить у стен Трои коня с героями в его брюхе. Но тогда зачем она пыталась их спровоцировать и погубить?.. Конечно, лжет Прекрасная Елена, но, как говорится, «ложь — во спасение», тем более что все пирующие убеждены в гибели Одиссея и некому проверить рассказ красавицы.

Для полного убеждения, что она «окончательно исправилась», Елена добавляет: когда Одиссей «многих троян умертвил, выведал все и в стан невиним возвратился, в сердце моем веселие было: давно уж стремилось в родную землю оно, в отчизну, где я покинула брачное ложе, и дочь, и супруга, столь одаренного светлым умом и лицом красотой».



Елена Троянская. Скульптор А.Канова (1812). Музей Виктории и Альберта, Лондон.

Выпив вина с раствором опиума, «столь одаренный светлым умом» Менелай охотно верит всему. Таков удел мужей, тем более что опиум начинает действовать. Все хотят спать. Телемах зевает и говорит:

*Настало время уж нам о постелях подумать,
чтоб, сладко
В сон погрузившись, на них успокоить
уставшие члены.*

Елена велела немедля рабыням в сенях кровати поставить, постлать тюфяки и ковры, «и косматые мантии бросить». Гости засыпают, а вскоре «во внутренней спальне заснул Менелай златовласый [рыжий. — А.П.] подле царицы Елены, покрытой одеждою длинной».

Такую поучительную историю, как с помощью наркотика можно обмануть «рыжего мужа», рассказал Гомер. Любопытно, что он никак не комментирует слова своих героев, излагающих на одной странице две взаимоисключающие версии событий. Кажется, что он всем им искренне верит, а настоящую оценку двусмысленной ситуации оставляет внимательному слушателю или читателю далекого будущего. Поэтому и живут поэмы Гомера тридцать веков. ■

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0–11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0–8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
М.Б.БУРЗИН
Т.С.КЛЮВИТКИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА
А.О.ЯКИМЕНКО

Выпускающий редактор
Л.П.БЕЛЯНОВА

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56

E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 17.03.2015
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать
Заказ 83
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6